

Tummien metsäjärvien vedenlaadun muutokset sedimentin piilevien ilmentämänä

Pohjois-Karjalan vesistöjen tilan parantaminen

Minna Kukkonen ja Juha Miettinen



Tummien metsäjärvien vedenlaadun muutokset sedimentin piilevien ilmentämänä

Pohjois-Karjalan vesistöjen tilan parantaminen

Minna Kukkonen ja Juha Miettinen



POHJOIS-KARJALAN
YMPÄRISTÖKESKUS

POHJOIS-KARJALAN YMPÄRISTÖKESKUKSEN
RAPORTTEJA 4 | 2007
Pohjois-Karjalan ympäristökeskus

Taitto: Maija Rämö
Kansikuva: Rauanjärvi, Aki Hassinen
Sisäsivujen kuvat: Aki Hassinen ja Minna Kukkonen

Julkaisu on saatavana myös internetistä:
www.ymparisto.fi/julkaisut

Edita Prima Oy, Helsinki 2007

ISBN 978-952-11-2867-7 (nid.)
ISBN 978-952-11-2868-4 (PDF)
ISSN 1796-1874 (pain.)
ISSN 1796-1882 (verkkok.)

ESIPUHE

Pohjois-Karjala on järvien ja jokien maakunta. Suuret järvet sekä lammet ja joet luovat monimuotoista luonnon maisemakuvaa, johon yhdistyy arvokkaita kulttuuriympäristöjä vanhan asutuksen sijoittuessa – vaarojen lakialueiden ohella – vesistöjen varsille. Vesistöt ovat tärkeä osa pohjoiskarjalaisten elämää. Loma-asutus, veneily ja kalastus ovat edelleenkin tärkeimpiä vesistöjen käyttömuotoja maakunnassa. Vesistöt tarjoavat kasvavalle luontomatkailulle omaleimaisia kohteita ja tukevat näin paikallisten elinkeinojen kehittämistä.

Pohjois-Karjalan vesistöjen tila on viime vuosina parantunut. Pistemäistä kuormitusta, asumajätevesien ja teollisuuslaitosten tuottamia jätevesiä, on vähennetty tehokkaasti uusinta teknologiaa käyttäen. Vesiensuojelun kannalta hajakuormituksen, maa- ja metsätalouden aiheuttaman kuormituksen merkitys onkin korostunut viime vuosina. Intensiivinen metsätalouden ja alueellisesti merkittävän maatalouden kuormituksen vähentäminen ovatkin tämän hetken keskeisiä vesiensuojelukysymyksiä.

Osana alueellista yhteistyötä Pohjois-Karjalan ympäristökeskus, Joensuun yliopiston Ekologian tutkimusinstituutti (ETI, aiemmin Karjalan tutkimuslaitoksen ekologian osasto) ja Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos käynnistivät vuonna 2004 hankkeen ”Pohjois-Karjalan vesistöjen tilan parantaminen”. Hankkeen tavoitteena oli selvittää Pohjois-Karjalalle tyypillisten humuspitoisten vesistöjen tilaa biologian (kasviplankton, piilevät, vesikasvit, pohjaeläimet ja kalasto) ja vesikemian avulla. Hankkeessa selvitettiin myös valuma-alueelta vesistöön kohdistuvan kuormituksen ja vesistöjen ekologisen tilan suhdetta. Kerätyn pohjatiedon perusteella hankkeessa mukana olleille järville arvioitiin vesiensuojelun tarvetta. Hankkeesta saatuja tietoja voidaan käyttää jatkossa myös arvioitaessa Pohjois-Karjalan muiden humusvesien tilaa sekä hoito- ja kunnostustarpeita. Keskeinen osa oli myös paikallisten asukkaiden osallistuminen kotijärviensä tilan arviointiin hankkeessa tehdyn kyselyn avulla.

Hankkeen tuottamaa tietoa, loppuraportin ohella, on tarkemmin esitelty viidessä erillisraportissa sekä hankkeen omilla internetsivuilla. Lisäksi hanke tuotti kansalaisille tarkoitettua vesiensuojelun yleisesitteen sekä internet-sivuston. Hanke tukee merkittävästi myös Euroopan unionin vesipolitiikan puitedirektiivin edellyttämää pintavesien ekologisen tilan arviointityötä Pohjois-Karjalassa.

Hankkeen suunnittelusta ja koordinoinnista sekä loppuraportin ja piileväraportin laatimisesta on vastannut suunnittelija, FL Minna Kukkonen (Pohjois-Karjalan ympäristökeskus), kasviplanktonselvityksistä tutkija FL, MMK Anna-Liisa Holopainen (Pohjois-Karjalan ympäristökeskus, ETI), pohjaeläinselvityksistä tutkija FM Markus Leppä (ETI), vesikasviselvityksistä Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskus, FM (väit.) Juhani Hynynen, kalastus selvityksistä FM Jukka Kekäläinen (ETI) ja ekologisen tilan arvioinnista kalaston perusteella Mikko Olin (RKTL). Maankäyttöön ja karttoihin liittyvästä paikkatietoaineistojen käsittelystä vastasi ins. (AMK, ympäristöteknologia) Aki Hassinen.

Osallistujatahot haluavat kiittää tekijöitä ja kaikkia hankkeeseen osallistuneita ja toivovat, että nyt valmistunut hanke omalta osaltaan luo parempia valmiuksia pohjoiskarjalaisten vesistöjen tilan parantamiseksi sekä lisää ihmisten ympäristötietoisuutta ja -osaamista.

Hannu Luotonen
Pohjois-Karjalan
ympäristökeskus

Markku Viljanen
Ekologian tutkimusinstituutti
Joensuun yliopisto

Martti Rask
Riista- ja kalatalouden
tutkimuslaitos

SISÄLLYS

| | |
|--|-----------|
| 1 Johdanto | 7 |
| 2 Kohdejärvet | 8 |
| 3 Menetelmät..... | 12 |
| 3.1 Näytteenotto ja näytteiden käsittely..... | 12 |
| 4 Tulokset..... | 14 |
| 4.1 Nokihiukkasanalyysi ja hehkutusjäännös | 14 |
| 4.2 Piilevät..... | 15 |
| 4.3 Yhteisöekologiset analyysit..... | 15 |
| 4.4 Järvikohtaiset tulokset..... | 19 |
| 4.4.1 Pienet humusjärvet..... | 19 |
| 4.4.2 Keskikokoiset humusjärvet..... | 27 |
| 4.4.3 Runsashumuksiset järvet | 28 |
| 4.4.4 Matalat humusjärvet | 31 |
| 4.4.5 Matalat runsashumuksiset järvet..... | 32 |
| 4.4.6 Lyhytviipymäiset järvet..... | 35 |
| 5 Tulosten tarkastelu | 37 |
| 5.1 Sedimentin rakenne | 37 |
| 5.2 Lajimuutokset ja indikaattorilajit | 37 |
| 5.3 Järvikohtaiset muutokset | 40 |
| 5.3.1 Pienet humusjärvet..... | 40 |
| 5.3.2 Keskikokoiset humusjärvet..... | 42 |
| 5.3.3 Runsashumuksiset järvet | 42 |
| 5.3.4 Matalat humusjärvet | 43 |
| 5.3.5 Matalat runsashumuksiset järvet | 43 |
| 5.3.6 Lyhytviipymäiset järvet | 44 |
| 6 Yhteenveto..... | 45 |
| Lähteet..... | 46 |
| Liite 1. Hankejärvissä esiintyneet lajit ja niistä käytetyt lyhenteet | 48 |
| Liite 2. Hankejärvien tärkeimmät lajit eri näytesyvyyksillä..... | 49 |
| Kuvailulehti..... | 55 |
| Presentationsblad | 56 |
| Documentation page..... | 57 |

1 Johdanto

Metsät ja vesistöt hallitsevat pohjoiskarjalaista maisemaa. Maakunnan pinta-alasta lähes viidennes on vettä. Etelä- ja keskiosille ovat tyypillisiä suuret vesistöt, pohjois- ja itäosille taas pienehköt, suovaltaisten alueiden metsäjärvet. Viime mainituille järville on tunnusomaista veden korkea humuspitoisuus ja paikoin happamuus.

Metsäjärviä ympäröivien valuma-alueiden maankäyttö perustuu usein metsätalouteen. Yli puolet Pohjois-Karjalan maakunnan soista on ojitettu metsätalouden ja turvetuotannon tarpeisiin, pääosin 1960- ja 1970-luvuilla. Valuma-alueiden maankäyttö ja siitä aiheutuva kuormitus heijastuu vesien laatuun ja ekologiseen tilaan. Ojitettujen alueiden valumavedet ovat muuttaneet vastaanottavien vesistöjen tilaa ja ekologiaa näin ollen jo vuosikymmenien ajan.

Kasvava virkistyskäyttö ja kalastus asettavat paineita vesistöjen kunnon säilyttämiseksi hyvänä. Pienten humusjärvien, jotka usein ovat latvavesiä suuremmille vesistöille, luonnontilaa tai nykyistä tilaa ei tunneta kovin hyvin. Tällöin myös niiden kunnon parantaminen, ennallistamistarpeiden ja -mahdollisuuksien arviointi on vaikeaa. Siksi tarvitaan pohjatietoa maakunnan pienten humusjärvien tilasta, jotta niitä voidaan paremmin ennallistaa ja pitää käyttökelpoisina jälkipolville.

Pitkäaikainen vedenlaadun seuranta metsätalouden kuormittamilla pienillä humusjärvillä on vähäistä, jolloin vedenlaadun pitkäaikaisia muutoksia voidaan parhaiten selvittää paleolimnologisin menetelmin järvien pohjasedimentistä (mm. Sandman ym. 1992). Järven pohjaan kertyy ainesta sekä järven omasta tuotannosta että valuma-alueelta. Näiden kerrostumien rakenteen ja eliöjäänteiden kuten piilevien avulla voidaan selvittää vedenlaatua ja siinä tapahtuneita muutoksia ajassa taaksepäin.

Pohjois-Karjalan maakunnan pienehköjen humusjärvien ekologista tilaa ja kunnostustarvetta on selvitetty Pohjois-Karjalan ympäristökeskuksessa vuonna 2004 käynnistetyssä Euroopan aluekehitysrahaston tavoite 1-ohjelman rahoittamassa ”Pohjois-Karjalan vesistöjen tilan parantaminen” – hankkeessa yhteistyössä Joensuun yliopiston Ekologisen tutkimusinstituutin (entinen Karjalan tutkimuslaitos) sekä Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen kanssa. Hankkeen tavoitteena oli

16 hajakuormituksen rasittaman tummavetisen kohdejärven ekologisen tilan ja valuma-alueiden kunnostustarpeen arviointi. Lisäksi kyseltiin paikallisten asukkaiden mielipidettä järvien tilasta sekä kunnostustarpeesta ja tiedotettiin heille vesien suojelusta (Kukkonen ym. 2007).

Hankkeen tässä raportoitavan paleolimnologisen osatutkimuksen tavoitteena oli selvittää järvi-
en vedenlaadun historiaa ja luonnontilaisia vertailuoloja. Työ tehtiin pohjasedimentin hehkutusanalyysin, nokihiukkasanalyysin ja pohjasedimenttiin kerrostuneiden piilevien avulla.



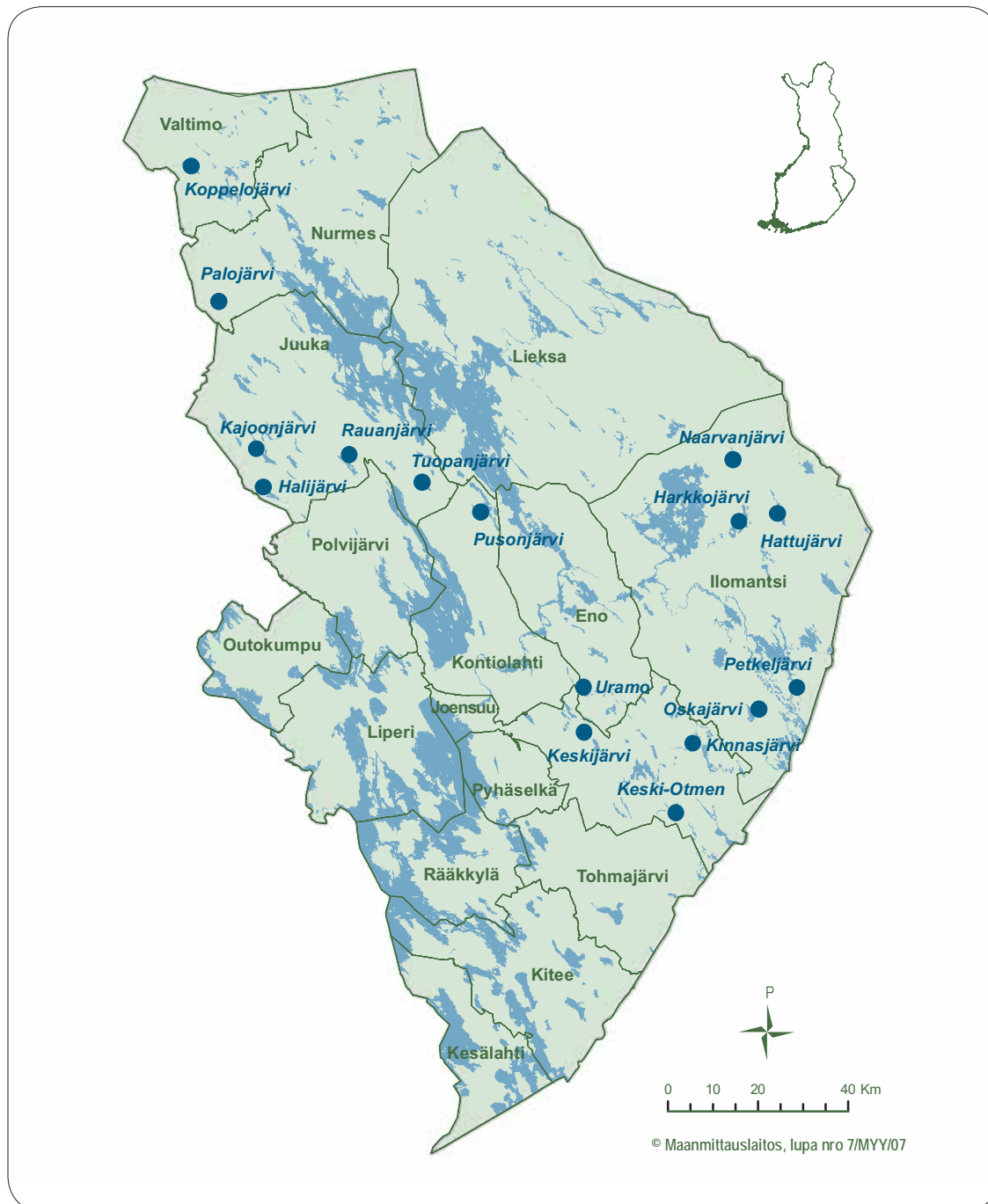
Kinnasjärven valuma-alueelta.

2 Kohdejärvet

Tutkimuksen kohteena oli 16 humusjärveä eri puolilta Pohjois-Karjalaa, kuva 1. Viisi järvestä sijaitsee Ilomantsissa: Harkkojärvi, Hattujärvi, Oskajärvi, Naarvanjärvi ja Petkeljärvi. Neljä järveä sijaitsee Juuassa: Tuopanjärvi, Kajoonjärvi, Halijärvi ja Rauanjärvi. Kolme järvestä on Joensuussa; kaksi Tuupovaarassa: Otmenjärvi ja Kinnasjärvi, ja yksi Kiihtelysvaarassa: Keskijärvi. Lisäksi järvestä

Uramo sijaitsee Enossa, Pusonjärvi Kontiolahdella, Palojärvi Nurmeksessa ja Koppelojärvi Valtimon kunnassa. Järviä yhdistävä tekijä on veden huomattava humuspitoisuus (väriluku vähintään 30 mg Pt l⁻¹) sekä Hattujärveä ja Kajoonjärveä lukuun ottamatta alle 500 hehtaarin koko, taulukko 1.

Järvet on tyypitelty Ympäristöministeriön (2006) ja Suomen ympäristökeskuksen (2007) antaman ohjeen mukaisesti. Pieniä humusjärviä (Ph) ovat Pusonjärvi, Uramo, Halijärvi, Tuopanjärvi, Rauanjärvi ja Keskijärvi, taulukko 1. Kajoonjärvi on kes-



Kuva 1. Hankejärvet sijoittuvat seitsemään eri kuntaan Pohjois-Karjalassa.

Taulukko 1. Tietoja hankejärivistä: sijaintikunta, vesistöalue, pinta-ala, rantaviivan pituus, tilavuus, maksimisyvyys, keskisyvyys ja tyyppi.

| Järvi | Kunta | Vesistöalue | Pinta-ala ha | Rantaviiva km | Tilavuus 10 ³ m ³ | Maksimi- syvyys m | Keskisyvyys m | Tyyppi |
|--------------|-------------|-------------|-----------------|------------------|--|-------------------------|------------------|--------|
| Pusonjärvi | Kontiolahti | 04.412 | 165 | 10 | 11 970 | 21 | 7,3 | Ph |
| Tuopanjärvi | Juuka | 04.862 | 316 | 18 | 13 767 | 17 | 4,4 | Ph |
| Uramo | Eno | 01.044 | 326 | 21 | 18 790 | 19 | 5,8 | Ph |
| Halijärvi | Juuka | 04.748 | 234 | 15 | 13 467 | 21 | 5,8 | Ph |
| Keskijärvi | Joensuu | 01.033 | 212 | 9 | 7 390 | 14 | 3,5 | Ph |
| Rauanjärvi | Juuka | 04.833 | 422 | 40 | 13 032 | 19 | 3,1 | Ph |
| Kajoonjärvi | Juuka | 04.761 | 552 | 25 | 62 489 | 50 | 11,3 | Kh |
| Kinnasjärvi | Joensuu | 01.071 | 139 | 14 | 6 102 | 22 | 4,4 | Rh |
| Harkkojärvi | Ilomantsi | 04.982 | 437 | 26 | 15 164 | 10 | 3,5 | Rh |
| Koppelojärvi | Valtimo | 04.465 | 471 | 19 | 21 656 | 19 | 4,6 | Rh |
| Otmenjärvi | Joensuu | 01.027 | 139 | 11 | 2 826 | 6 | 2,0 | Mh |
| Hattujärvi | Ilomantsi | 04.983 | 515 | 29 | 16 942 | 9 | 3,3 | MRh |
| Palojärvi | Nurmes | 04.684 | 166 | 8 | 2 776 | 8 | 1,7 | MRh |
| Oskajärvi | Ilomantsi | 04.992 | 371 | 17 | 9 795 | 12 | 2,6 | MRh |
| Naarvanjärvi | Ilomantsi | 04.952 | 128 | 16 | 3 203 | 8 | 2,5 | Lv |
| Petkeljärvi | Ilomantsi | 04.922 | 176 | 22 | 5 484 | 9 | 3,1 | Lv |

kikokoinen humusjärvi (Kh), Kinnasjärvi, Harkkojärvi ja Koppelojärvi ovat runsashumuksisia järviä (Rh), Otmenjärvi on matala humusjärvi (Mh) sekä Hattujärvi, Oskajärvi ja Palojärvi matalia runsashumuksisia järviä (MRh). Lyhytviipymäisiä (Lv) ovat Naarvanjärvi ja Petkeljärvi.

Järvien pinta-alat vaihtelevat 128-552 ha välillä, taulukko 1 (Kukkonen ym. 2007). Pienimpiä ovat Naarvanjärvi, Kinnasjärvi sekä Otmenjärvi ja suurin Kajoonjärvi. Maksimisyvyys on suurin Kajoonjärvellä, 50 m ja pienin Otmenjärvellä, 6 m sekä Palojärvellä, 8 m. Keskisyvyys on suurin Kajoonjärvessä, 11,3 m, jään muissa alle 8 m.

Järvistä osa on ns. latvavesistöjä, kun taas osalla on yläpuolisia valuma-alueita. Lähivaluma-alueista suurin on Koppelojärvellä ja pienin Keskijärvellä, taulukko 2. Suurin kaukovaluma-alue on Petkeljärvellä, jonka lähi- ja kaukovaluma-alueet yhteensä ovat lähes 105 000 ha, josta 81 395 ha on Venäjän puolella.

Lähivaluma-alueiden maa-alasta on turvemaita keskimäärin 30 %, taulukko 2 (Kukkonen ym. 2007). Turvemaapitoisimmat valuma-alueet ovat Naarvanjärvellä, Palojärvellä, Koppelojärvellä ja

Hattujärvellä. Vähiten turvemaita on Keskijärvellä, Kinnasjärvellä, Otmenjärvellä ja Kajoonjärvellä. Kaukovaluma-alueista turvemaita on huomattavasti Harkkojärvellä. Hankejärvien sekä lähi- että kaukovaluma-alueista suurin osa on metsää. Metsäisimpiä valuma-alueita on Uramon, Koppelojärven ja Otmenjärven ympäristössä. Niissä metsämaiden osuus lähivaluma-alueesta on suu-



Tuopanjärven rantakivikko.

Taulukko 2. Tutkimusjärvien lähivaluma-alueiden (Lva) ja kaukovaluma-alueiden (Kva) koko, lähivaluma-alueen maankäyttömuotojen osuus maapinta-alasta, vuotuinen laskennallinen fosfori- ja typpikuormitus, eri kuormituslähteiden (luonnonhuuhtouma, maatalous ja metsätalous) osuudet fosforin (P) ja typen (N) kokonaiskuormasta sekä ojitusintensiteetti (Kukkonen ym. 2007).

| Järvi | Lva ha | Kva ha | Maankäyttö | | | | Ravinnekuormitus | | | | |
|--------------|--------|--------|------------|---------|-------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------|-------------------|
| | | | Metsä % | Turve % | Maatalous % | Ojat m ha ⁻¹ | P kg vuosi ⁻¹ | N kg vuosi ⁻¹ | Luonnonhuuhtouma P/N % | Maatalous P/N % | Metsätalous P/N % |
| Pusonjärvi | 2 346 | - | 91 | 22 | 3,0 | 81 | 260 | 7 500 | 44/33 | 19/10 | 14/41 |
| Tuopanjärvi | 3 122 | 5 676 | 84 | 31 | 6,0 | 106 | 470 | 11 500 | 33/23 | 28/14 | 11/44 |
| Uramo | 4 506 | - | 94 | 22 | 1,0 | 53 | 430 | 11 900 | 47/38 | 8/4 | 12/34 |
| Halijärvi | 2 572 | - | 82 | 27 | 7,0 | 81 | 390 | 10 800 | 36/26 | 35/21 | 10/40 |
| Keskijärvi | 961 | 3 124 | 84 | 14 | 8,0 | 54 | 330 | 3 700 | 25/21 | 37/23 | 6/25 |
| Rauanjärvi | 5 964 | - | 64 | 38 | 2,0 | 89 | 590 | 17 500 | 48/39 | 15/7 | 14/37 |
| Kajoonjärvi | 2 168 | 10 308 | 88 | 18 | 5,0 | 61 | 380 | 8 600 | 25/21 | 28/14 | 9/31 |
| Kinnasjärvi | 1 002 | 27 095 | 84 | 16 | 10,0 | 48 | 220 | 4 200 | 25/22 | 46/29 | 5/27 |
| Harkkojärvi | 2 667 | 14 938 | 91 | 30 | 1,0 | 77 | 260 | 8 500 | 43/31 | 3/2 | 11/38 |
| Koppelojärvi | 10 596 | - | 94 | 39 | 2,0 | 121 | 980 | 31 500 | 53/40 | 15/6 | 16/43 |
| Otmenjärvi | 3 765 | - | 94 | 16 | 3,0 | 43 | 430 | 11 400 | 44/33 | 25/12 | 10/39 |
| Hattujärvi | 5 785 | - | 92 | 51 | 0,0 | 160 | 500 | 14 800 | 52/46 | 2/1 | 17/31 |
| Palojärvi | 6 265 | - | 93 | 43 | 0,4 | 156 | 440 | 13 700 | 68/55 | 5/2 | 11/32 |
| Oskajärvi | 3 984 | - | 91 | 37 | 3,0 | 97 | 480 | 12 300 | 40/37 | 22/10 | 15/37 |
| Naarvanjärvi | 4 419 | 59 561 | 89 | 46 | 1,0 | 122 | 350 | 12 300 | 61/45 | 8/3 | 14/43 |
| Petkeljärvi | 2 610 | 20 893 | 93 | 29 | 0,3 | 77 | 250 | 7 300 | 47/39 | 4/1 | 23/42 |

Taulukko 3. Järvikohtaisia vedenlaatutietoja pintavedestä (Holopainen ym. 2007). Pusonjärven, Tuopanjärven, Petkeljärven, Kinnasjärven ja Keskijärven tulokset ovat avovesikauden 2005 keskiarvoja ja pH-arvon mediaaneja, muiden järvien tulokset elokuulta 2005. DOC=orgaaninen liukoinen kokonaishiili, TOC=orgaaninen kokonaishiili, P=kokonaishfosfori, N=kokonaistyyppi. *Hattujärven ja Keskijärven hiilipitoisuustiedot ovat vuoden 2006 heinä-elokuun orgaanisen kokonaishiilen pitoisuuksia.

| Tutkimusjärvi | Näkösyvyys m | Väriluku mg Pt l ⁻¹ | DOC/TOC* mg l ⁻¹ | P µg l ⁻¹ | N µg l ⁻¹ | Klorofylli a µg l ⁻¹ | pH -arvo |
|---------------|--------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------|----------|
| Pusonjärvi | 2,6 | 78 | 10,0 | 7 | 495 | 3,7 | 7,0 |
| Tuopanjärvi | 1,8 | 88 | 12,0 | 14 | 560 | 11,0 | 6,9 |
| Uramo | 1,8 | 110 | 10,0 | 13 | 330 | 6,4 | 6,4 |
| Halijärvi | 2,0 | 110 | 13,0 | 19 | 460 | 11,0 | 6,8 |
| Keskijärvi | 2,5 | 49 | 8,0* | 12 | 400 | 8,6 | 7,0 |
| Rauanjärvi | 2,0 | 100 | 12,0 | 11 | 390 | 7,3 | 6,7 |
| Kajoonjärvi | 3,3 | 80 | 9,9 | 10 | 440 | 5,9 | 7,0 |
| Kinnasjärvi | 1,7 | 153 | 13,0 | 19 | 473 | 10,1 | 6,4 |
| Harkkojärvi | 1,6 | 180 | 14,0 | 22 | 400 | 9,4 | 6,2 |
| Koppelojärvi | 1,4 | 180 | 15,0 | 42 | 550 | 44,0 | 6,2 |
| Otmenjärvi | 1,3 | 100 | 11,0 | 27 | 540 | 40,0 | 6,8 |
| Hattujärvi | 1,5 | 160 | 13,0* | 24 | 400 | 8,7 | 6,3 |
| Palojärvi | 1,0 | 210 | 14,0 | 35 | 470 | 14,0 | 5,5 |
| Oskajärvi | 1,5 | 180 | 16,0 | 20 | 480 | 7,7 | 6,3 |
| Naarvanjärvi | 1,6 | 180 | 12,0 | 19 | 370 | 12,0 | 6,2 |
| Petkeljärvi | 1,4 | 155 | 13,0 | 19 | 385 | 8,4 | 5,4 |

rin noin 94 %. Vähiten metsiä on Rauanjärvellä, Tuopanjärvellä, Kinnasjärvellä, Keskijärvellä ja Halijärvellä. Kaukovaluma-alueiden metsäisyys on noin 90 %, mukana ei ole Petkel- ja Naarvanjärven Venäjän puoleisia alueita, jotka ovat metsäisiä lähes kokonaan.

Ojitusintensiiteetti, mikä kertoo ojаметrien määrän valuma-aluehehtaaria kohti (mukana kaikki alle 2 m leveät ojat), on korkein Koppelojärven, Hattujärven, Palojärven ja Naarvanjärven lähivaluma-alueella ja matalinta Otmenjärvellä ja Uramolla, taulukko 2. Ojitetuimmat kaukovaluma-alueet ovat Tuopan-, Kajaan-, Petkel-, Kinnas- ja Harkkojärvellä. Kunnostusojituskohteiden määrää tarkasteltiin vuodesta 1994 vuoteen 2004. Niiden osuus koko valuma-alueen maa-alasta vaihteli 0–16 %. Kunnostusojitetuimpia, yli 10 % lähivaluma-alueen maa-alasta, olivat Tuopanjärven, Petkeljärven ja Hattujärven ympäristöt.

Järvien lähivaluma-alueiden ravinnekuormitus koostuu pääosin luonnonhuuhtoumasta ja ilmalas-keumasta, taulukko 2 (Kukkonen ym. 2007). Luonnonhuuhtoumaan sisältyy näissä luvuissa talousmetsien luonnonhuuhtouma, mikä on korkeampi kuin luonnontilaisten metsien luonnonhuuhtouma. Pienintä luonnonhuuhtouma ja ilmalas-keuma ovat Kinnasjärvellä ja Kajaanjärvellä, joissa molemmissa maatalouden aiheuttama kuormitus

on suuri. Keskijärvellä, jossa luonnonhuuhtouma on myös matala, kuormitusta nostaa kalanviljelylaitos. Asutuksen ja rakennetun ympäristön osuus on pieni kaikilla järvillä; Harkkojärvellä se on lähes 0 %, Kajaanjärvellä ja Kinnasjärvellä korkein, 5–6 %. Metsätaloustoimenpiteiden osuus kuormituksesta on korkein Koppelojärvellä ja matalin Kinnasjärvellä.

Kaukovaluma-alueiden ravinteet pidättyvät osittain yläpuolisiin vesistöihin, mutta osa lisää ravinteiden määrää alapuolisessa vesistössä. Metsien luonnonhuuhtouma on suurin kuormittaja kaukovaluma-alueilla, asutuksen ja rakennetun ympäristön osuuksien ollessa pieniä.

Veden laadultaan tutkimusjärvet edustavat pieniä, melko tai hyvin humuspitoisia järviä, taulukko 3. Päälyysveden väriluku vaihteli elokuussa 2005 Keskijärven 49 mg Pt l⁻¹ arvosta Palojärven 210 mg Pt l⁻¹ väriin. Järvien veden pH-arvo on alhaisin Petkeljärvessä ja Palojärvessä, kun taas Pusonjärvessä, Keskijärvessä ja Kajaanjärvessä se on lähes neutraali. Kokonaisfosforin ja klorofylli *a*:n pitoisuuksien perusteella Pusonjärvi (Ph) on tämän tutkimuksen niukkaravinteisin eli karuin järvi ja Koppelojärvi (Rh) runsasravinteisin. Kokonaistypen pitoisuus oli päälyysvedessä pienin Uramossa ja suurin Tuopanjärvessä.



Harkkojärvi.

3 Menetelmät

3.1

Näytteenotto ja näytteiden käsittely

Sedimenttinäytteet otettiin Kajak-noutimella (malli Roland Smith, Mondsee) ja osasta järviä junttakairalla (vajeriohjattava mäntäkaira, Meriläisen ja Huttusen malli, Karjalan tutkimuslaitos, Joensuu yliopisto), taulukko 4. Sedimenttipatsaasta analysoitiin eri kerroksista piilevät ja sedimentin hehkutushäviö. Kuuden järven sedimenttipatsaalle tehtiin nokihiukkasanalyysi sedimenttipatsaan ajoitusta varten.

Sedimenttipatsaiden ajoitus tehtiin Pusonjärvestä, Tuopanjärvestä, Palojärvestä, Harkkojärvestä, Keskijärvestä ja Petkeljärvestä nokihiukkasanalyysin (Renberg ja Wik 1994) avulla (Hynynen 2005). Nokihiukkasanalyysi on useissa metsätalouden vaikutuksia selvittäneissä hankkeissa havaittu ²¹⁰lyijy-ajoitusta paremmaksi (mm. Liehu ym. 1986, Sandman ym. 1992, Tolonen ym. 1992). Lyijyajoituksessa sedimentti vanhenee usein nopeammin kuin nokihiukkasajoituksessa. Syynä pidetään usein ojitusten yhteydessä syvemmältä maaperästä kulkeutunutta matala-aktiivisten maa-ainesten sekoittumista sedimentoituvaan ainekseen. Toisaalta maa-ainekset saattavat myös laimentaa jonkin

verran nokihiukkaskonsentraatiota sedimentissä ja näin alentaa nokihiukkasten määrää joissakin syvyyksissä.

Hehkutuskevennystä varten sedimenttipatsas siivutettiin. Sedimenttien siivutustiheys vaihteli järveltäin: Pusonjärvi, Palojärvi, Petkeljärvi sekä Tuopanjärvi siivutettiin 2 cm välein ja Otmenjärvi, Kajojärvi, Keskijärvi, Halijärvi, Rauanjärvi, Koppelojärvi ja Harkkojärvi sekä Uramo 6 cm välein.

Vedenlaadun muutoksia selvitettiin piikuoristen piilevien avulla. Ne ovat mikroskooppisen pieniä leviä, joiden kuori on muodostunut piistä. Niitä elää kaikissa pintavesissä ja jopa kuivalla maalalla. Vesistöissä ne kuuluvat osaksi kasviplanktonia, mutta osa lajeista elää myös kiinnittyneinä mm. kiviin, vesikasvillisuuteen ja pohjaan. Piikuorensa ansiosta ne ovat hyvin kestäviä ja säilyvät järven pohjasedimentissä jopa tuhansia vuosia. Niitä kerääntyy runsaasti pohjasedimenttiin: grammassa kuivaa sedimenttiä voi olla jopa useita kymmeniä miljoonia kuoria (Andersson 1990a). Piileviä elää lähes kaiken tyyppisissä vesistöissä ja niiden ekologia tunnetaan melko hyvin. Niissä on monia indikaattorilajeja ja ne reagoivat herkästi vesiympäristössä tapahtuviin muutoksiin kuten ravinnepitoisuuden vaihteluihin ja ionikonsentraatiomuutoksiin (mm. Dixit ym. 1992). Piilevät soveltuvatkin hyvin jäljittämään vesistön historiaa ajassa taaksepäin myös veden fysikaalis-kemiallisen laadun muodossa (Andersson 1990b, Stoermer ja Smol 1999, Miettinen ym. 2005).

Taulukko 4. Hankejärvien näytteenottopaikan vesisyvyys, näytepatsaan pituus, noutoväline ja järvet, joille tehtiin nokihiukkasanalyysi.

| Järvi | Vesisyvyys m | Näytepatsas cm | Noudin | Nokihiukkas- analyysi |
|--------------|-----------------|-------------------|--------------------------------|--------------------------|
| Pusonjärvi | 19 | 30 | Kajak | x |
| Uramo | 19 | 40 | Kajak | |
| Rauanjärvi | 10 | 31 | Kajak | |
| Tuopanjärvi | 14 | 37 | Kajak | x |
| Halijärvi | 18 | 32 | Kajak | |
| Otmenjärvi | 6 | 40 | Kajak | |
| Kajojärvi | 19 | 37 | Kajak | |
| Petkeljärvi | 6 | 170 | Kajak + pitkä junttakairanäyte | x |
| Oskajärvi | 9 | 12 | Kajak | |
| Kinnasjärvi | 20 | 150 | Kajak + GTK:n näyte | |
| Naarvanjärvi | 8 | 40 | Kajak | |
| Harkkojärvi | 8 | 39 | Kajak + pitkä junttakairanäyte | x |
| Palojärvi | 8 | 232 | Kajak + pitkä junttakairanäyte | x |
| Koppelojärvi | 14 | 169 | Kajak + pitkä junttakairanäyte | |
| Keskijärvi | 14 | 42 | Kajak | x |
| Hattujärvi | 9 | 28 | Kajak | |

Piilevänäytteitä varten sedimenttinäytteistä poltettiin orgaaninen aines peroksidin ja hapon avulla. Polton jälkeen näytteitä huuhdeltiin useaan kertaan tislattulla vedellä. Suspensiota kuivattiin peitinlasille muutaman tipan verran. Peitinlasi kiinnitettiin objektilasiin valoa voimakkaasti taittavalla Naphrax-suljinaineella. Näytteistä analysoitiin piilevät 1000 x-suurenoksella. Piilevien kuoria laskettiin 350–450 näytettä kohden. Lajimääritys perustuu seuraaviin julkaisuihin: Krammer ja Lange-Bertalot (1986), Krammer ja Lange-Bertalot (1991) ja Lange-Bertalot ja Krammer (1987). Tekstissä käytetyt lajilyhenteet ovat liitteessä 1.

Aineistoista laskettiin lajien prosenttiosuudet näytesyvyyttä kohden. Tärkeimpien lajien osuudesta piirrettiin stratigrafiset kuvat. Järvikohtaisten tarkastelujen lisäksi lajien keskimääräisiä osuuksia sedimenttipatsaiden eri syvyyksissä tarkasteltiin vaaleiden ja tummien järvien osalta. Sitä varten järvet jaettiin vaaleisiin, väri alle 90 mg Pt l⁻¹ ja tummiin, väri yli 90 mg Pt l⁻¹. Keskimääräiset lajiosuudet laskettiin sedimenttipatsaan syvyyksille 0–1 cm, 6–7 cm ja 12–19 cm. Syvimmät näytteet vaihtelivat siten, että vaaleista järvistä syvin näyte oli 24–37 cm ja tummista oli kaksi syvää näytettä 24–59 cm ja 59-syvimmät syvyydet. Jokaiselle näytetasolle laskettiin yleisimmille lajeille keskiarvo kaikkien näytteiden kesken. Näin selvitettiin, mitkä lajit esiintyvät yleisesti valtalajeina nykyään ja

mitkä menneisyydessä sekä minkä tyyppinen on ollut keskimäärin lajistokehitys vaaleissa ja tummissa järvissä. Lisäksi katsottiin, mitkä lajit esiintyvät yleisesti useassa näytteessä, mutta matalilla osuuksilla.

Piileväyhteisöjen yhteisöekologisten muutossuuntien selvittämiseen käytettiin CANOCO-ohjelmistoon kuuluvaa oikaistua korrespondenssi-analyysiä (DCA, Hill ja Gauch 1980) sekä kanonista korrespondenssianalyysiä (CCA, ter Braak 1986, 1987, 1990). Kanonisen korrespondenssimenetelmän (CCA) avulla yhdistettiin järvien veden laatu ja maankäyttö pintasedimenttien lajistoon. Analyysihin otettiin mukaan lajit joiden prosenttiosuus jossakin näytteessä oli vähintään 1 %. Harvinaisten lajien painoarvoa pienennettiin ohjelman mukaisesti. Kanonisessa korrespondenssianalyysissä ympäristömuuttujina kokeiltiin veden ravinnepitoisuuksia ja happamuutta, maankäytön turvemaasuutta, ojitusintensiteettiä sekä niiden suhdetta järven tilavuuteen.

Piileväaineistoihin perustuvat veden kokonaisfosfori- ja värirekonstruktio on tehty WACALIB-ohjelmalla Miettisen (2003) kalibroitaineistoa hyväksi käyttäen. Miettisen aineisto perustuu itä- ja kaakkoissuomalaisiin järviin, joiden koko vaihtelee 0,3–283 km² ja syksyn veden kokonaisfosforipitoisuus 3–125 µg l⁻¹.



Halijärvi.

4 Tulokset

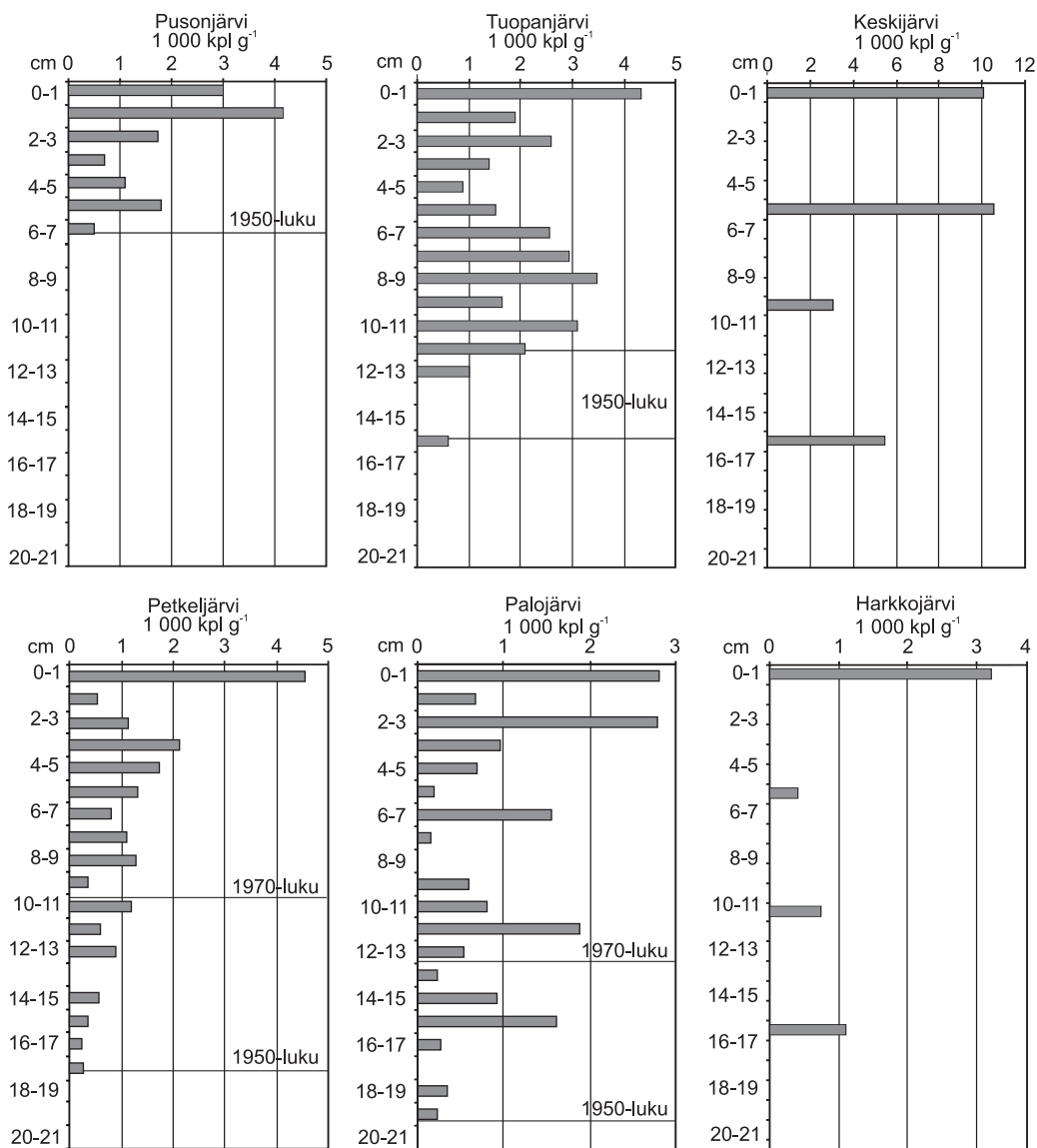
4.1

Nokihiukkasanalyysi ja hehkutusjäännös

Hankejärvissä nokihiukkasanalyysillä hahmotettiin näytepatsaista aikaa 1900-luvulta nykypäivään, kuva 2. Tulosten mukaan 1950-lukua edeltänyt aika sijoittuu niukkaravinteisessa Pusonjärvessä noin 7 cm alapuolelle ja ravinteikkaassa Tuopanjärvessä 13–16 cm paikkeille. Tumma- ja vaalea- ja tummista järivistä 1950-luku on Petkeljärvessä noin

17–18 cm ja 1970-luku noin 10 cm syvyydessä. Palojärvessä edellä mainitut ajoitukset ovat 1–2 cm syvemmät (Hynynen 2005). Keskijärven ja Harkkojärven nokihiukkasanalyysin tulokset ovat tulkinnanvaraisia harvan näytetiheyden takia. Molemmista järvistä nokihiukkasia oli 18–19 cm:n näytteissä, mutta ei enää 24–25 cm:n näytteissä. Arvioin mukaan 1950-luvun kerrostumat sijaitsevat 18–24 cm: syvyydessä.

Hankejärvien hehkutuskevennysosuudet vaihtelivat vaaleiden järvien osalta 30–40 % välillä. Rauanjärven hehkutuskevennysarvot olivat kaikkein suurimmat, 50 % molemmin puolin. Kajojärven arvot olivat matalimmat, 24–38 %. Monissa järvissä hehkutuskevennys laski 11–19 cm välillä sekä pintaa kohden. Tummien järvien hehkutuske-



Kuva 2. Kuuden hankejärven nokihiukkasanalyysi. Ylhäällä vaaleat ja alhaalla tummat järvet.

vennykset vaihtelivat 10–30 %. Matalimmat olivat Koppelojärvässä. Järvikohtaiset hehkutuskevennyskuvat on piirrettyinä kunkin järven tulosten yhteeseen.

Hankejärivistä saatiin näytteitä järvien pohjasedimentistä eri syvyyksiltä. Syvimmät olivat Palojärven 211 cm syvyydestä. Hankejärvien vertailutilaksi otetaan kuitenkin tässä noin 30–40 cm näytesyvyys. Tämän tason katsotaan nokihiukkasanalyysin perusteella edustavan aikaa, jolloin hankejärvien valuma-alueiden maankäyttöön ei juuri ihmistoiminta vielä vaikuttanut eli valuma-alue oli lähes luonnontilassa. Lisäksi ilman mukana leviävien kuormittavien hiukkasten määrä oli matala. Syvimpien näytteiden ajoitusta ei Kinnasjärveä lukuun ottamatta tiedetä, joten ne voivat edustaa jopa ilmasto-olosuhteiltaan nykyisestä poikkeavia ajanjaksoja.

4.2

Piilevät

Hankejärvien piilevälajistot olivat samantyyppisiä, liite 2. Valtalajeina esiintyivät sukujen *Aulacoseira*, *Eunotia*, *Cyclotella* ja *Asterionella* lajit. Järvien välillä oli kuitenkin eroavuuksia sekä vertailutilan että kuormittuneiden järvien lajistoissa ja lajistomuutoksissa. Tavanomaista oli, että lajien osuudet vaihtelivat huomattavastikin eri näytesyvyyksissä eikä aina selviä, kasvavia tai väheneviä lajiosuuksien muutoksia ollut havaittavissa. Tärkeimpien lajien stratigrafiset kuvat on piirretty järvikohtaisiin tuloksiin.

Planktiset tai ensisijaisesti planktisiksi luokiteltavat lajit muodostivat osassa järviä valtaosan piilevästä, liite 2. Planktisten lajien osuudet olivat yleisesti matalammat tummissa vesissä paitsi Koppelojärvässä, jossa se oli korkein kaikista hankejärivistä, vaihdellen 45–95 % välillä. Matalimmat arvot, 30–50 % olivat Harkko- ja Hattujärvellä, joissa veden happamuus saattaa vähentää planktisten lajien määrää.

Tulosten mukaan tummien ja vaaleiden järvien lajistoissa ja lajistomuutoksissa on selviä eroja, joten niitä käsitellään erillään. Vaaleiden järvien yleisimmin esiintyvä valtalaji jokaisessa näytesyvyyydessä on *Aulacoseira subarctica*, jonka keskimääräinen osuus vaihtelee ollen korkeampi vanhoissa kuin nuorissa näytteissä, taulukko 5. Muita yleisiä, vanhimpien näytteiden valtalajeja ovat *A. subarctica* ja *A. distans*, *A. tenella*, *A. lirata* ja *A. alpigena* sekä *Cyclotella rossii*, *Frustulia rhomboides* ja *Anomoeoneis brachysira*. 12–19 cm syvyydessä lajien osuudet pysyvät samoina kuin vanhoissa näyt-

teissä. 6–7 cm syvyydestä pintaa kohden ovat yleisiä yhä *A. subarctica* ja *C. rossii*, mutta lisäksi nousee lajien *Asterionella formosa*, *Aulacoseira ambigua*, *Eunotia zasuminensis*, *Tabellaria fenestrata*, *T. flocculosa*, *Fragilaria brevistriata* ja *Cyclotella stelligera* osuudet. Osassa järviä pinnimmaisessa näytteessä lajin *A. ambigua* osuus on jo suurempi kuin *C. rossii*.

Yleisesti, lähes kaikissa vanhoissa näytteissä esiintyviä lajeja, mutta pienellä osuudella ovat *Achnanthes levanderi* ja *Navicula pupula*. Keskitasoilla yleisiä mutta matalalla osuuksilla esiintyviä ovat mm. *Achnanthes levanderi*, *A. minutissima*, *Pinnularia gibba* ja *Eunotia faba*. Pinnimmaisissa näytteissä yleisiä pienellä osuudella ovat *Achnanthes minutissima*, *Fragilaria construens* var *vulgaris* ja *Pinnularia gibba*. Lajia *Eunotia zasuminensis* esiintyy 4 järven pintanäytteessä ja lajia *Meridion circulare* kahdessa pintanäytteessä.

Tummien järvien keskimääräiset lajisto-osuudet eroavat jonkin verran vaaleista järvistä, taulukko 5. Selvää, valtalajia, jota olisi ollut kaikissa näytesyvyyksissä, ei esiinny. *A. subarctica*, joka on yleinen vaaleissa järvissä, on yleinen myös tummissa järvissä, mutta sen osuus laskee selvästi nuoria näytteitä kohden. Vanhimmissa näytteissä, alle 60 cm, sekä syvyytasoissa 24–59 cm vallitsevat suvun *Aulacoseira*-lajit sekä muut humuspitoisten järvien lajit. Syvyytasoja 7 cm ja 12–19 cm kohden nousee tummissa järvissä lajin *A. subarctica* kapean muodon ja lajin *A. distans* var *tenella* osuus. Muuten lajistokoostumus pysyy edellisen kaltaisena. Pinnimmaisessa näytteessä valtalajina on lajin *A. subarctica* kapea muoto ja *Tabellaria fenestrata*. Muita uusia lajeja ovat *Asterionella formosa* ja *Aulacoseira italica*. Muita huomioitavia, rehevyyttä ilmentäviä lajeja ovat *A. italica* var *tenuissima*, *A. ambigua*, *Fragilaria brevistriata*, *F. crotonensis* sekä *Eunotia zasuminensis*, joiden osuudet nousevat vähitellen nuoria näytteitä kohden.

4.3

Yhteisöekologiset analyysit

Koko aineistosta tehtiin oikaistu korrespondensianalyysi, jossa olivat mukana kaikkien järvien jokainen analysoitu syvyys. Ordinaation eigenvaluearvot olivat 0,35 ja 0,26. Lajisto-ordinaatiossa rehevyyttä ilmentävät lajit asettuvat vasempaan reunaan, humusvesille tyypilliset lajit ordinaation keskivaiheilla ja kirkkaiden sekä emäksisten vesien lajit oikeaan reunaan, kuva 3. Verrattaessa näytesyvyysordinaatioon, kuva 4, ovat planktiset lajit yleisiä tummissa järvissä ja litoraalilajit sekä kiinnittyvät lajit yleisempiä vaaleissa järvissä.

Taulukko 5. Vaaleiden ja tummavetisten järvien keskimääräisiä lajisto-osuuksia näytepatsaan eri syvyyksissä. Lajien lyhen-
nykset liitteen I taulukossa.

| | Vaaleat järvet | | | | Tummat järvet | | | | |
|----------|----------------|------|----------|----------|---------------|------|----------|----------|-------|
| | Pinta | 7 cm | 12–19 cm | 24–37 cm | Pinta | 7 cm | 12–19 cm | 24–59 cm | Syvät |
| ANOMbrac | 1,2 | 1,4 | 2,9 | 3,6 | 0,9 | 1,0 | 1,5 | 1,7 | 1,0 |
| ASTEform | 5,0 | 5,7 | 1,5 | 0,9 | 6,9 | 0,8 | 1,9 | 0,7 | 1,4 |
| AULAalpi | 0,7 | 1,9 | 2,5 | 3,1 | 0,8 | 1,9 | 1,7 | 2,3 | 1,3 |
| AULAambi | 7,2 | 3,3 | 1,3 | 0,5 | 5,5 | 3,7 | 6,8 | 6,4 | 4,8 |
| AULAdist | 4,9 | 3,3 | 5,9 | 5,5 | 6,6 | 7,0 | 8,7 | 9,9 | 10,8 |
| AULAgran | 0,3 | 0,5 | 0,0 | 0,0 | 0,8 | 1,2 | 0,9 | 0,3 | 0,3 |
| AULAital | 1,7 | 2,1 | 0,9 | 0,8 | 3,5 | 2,3 | 1,5 | 2,2 | 1,9 |
| AULAkape | 0,8 | 1,0 | 1,1 | 0,0 | 2,7 | 1,7 | 0,4 | 0,7 | 0,2 |
| AUALacu | 1,0 | 0,4 | 1,5 | 1,9 | 2,1 | 7,5 | 8,9 | 4,5 | 2,7 |
| AUALira | 1,8 | 2,7 | 3,5 | 3,1 | 2,0 | 6,5 | 8,4 | 7,7 | 12,4 |
| AULAsuba | 13,9 | 15,9 | 17,9 | 17,5 | 6,0 | 6,5 | 4,7 | 8,3 | 10,8 |
| AULAsubK | 0,9 | 0,3 | 1,0 | 0,4 | 9,6 | 7,3 | 3,3 | 6,8 | 1,6 |
| AULtenel | 5,3 | 7,5 | 5,7 | 7,7 | 4,3 | 6,2 | 2,3 | 2,7 | 3,4 |
| CYCbodan | 0,0 | 0,5 | 0,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| CYCLradi | 2,0 | 1,9 | 1,8 | 0,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 |
| CYCLross | 7,1 | 9,4 | 12,4 | 11,9 | 0,1 | 1,0 | 0,6 | 1,1 | 0,3 |
| CYCLstel | 4,8 | 4,3 | 2,9 | 2,0 | 0,3 | 0,5 | 0,3 | 0,2 | 1,8 |
| EUNzasum | 1,0 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,7 | 0,03 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| FRABrevi | 2,4 | 2,4 | 0,6 | 1,3 | 2,1 | 1,1 | 2,3 | 2,0 | 2,5 |
| FRAConta | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,5 | 0,4 | 0,6 | 0,6 | 0,2 |
| FRAGcrot | 0,7 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 1,5 | 2,4 | 0,1 | 0,1 | 0,2 |
| FRAGpinn | 0,5 | 0,3 | 0,5 | 0,6 | 1,5 | 0,8 | 1,5 | 1,5 | 1,7 |
| FRAvires | 1,9 | 2,5 | 0,7 | 1,7 | 1,3 | 2,2 | 2,0 | 1,8 | 1,5 |
| FRUSrhom | 0,3 | 1,7 | 3,1 | 4,1 | 2,8 | 4,4 | 4,4 | 3,1 | 1,5 |
| MERCirc | 0,3 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| PINGibba | 0,8 | 0,8 | 1,3 | 0,9 | 1,1 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 0,8 |
| TABfenes | 1,1 | 1,7 | 0,3 | 0,4 | 2,8 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 0,6 |
| TABfloc3 | 1,6 | 1,3 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,9 | 0,7 | 0,8 | 1,9 |
| TABfloc | 7,2 | 5,9 | 3,5 | 3,0 | 7,9 | 4,2 | 5,8 | 3,2 | 4,4 |

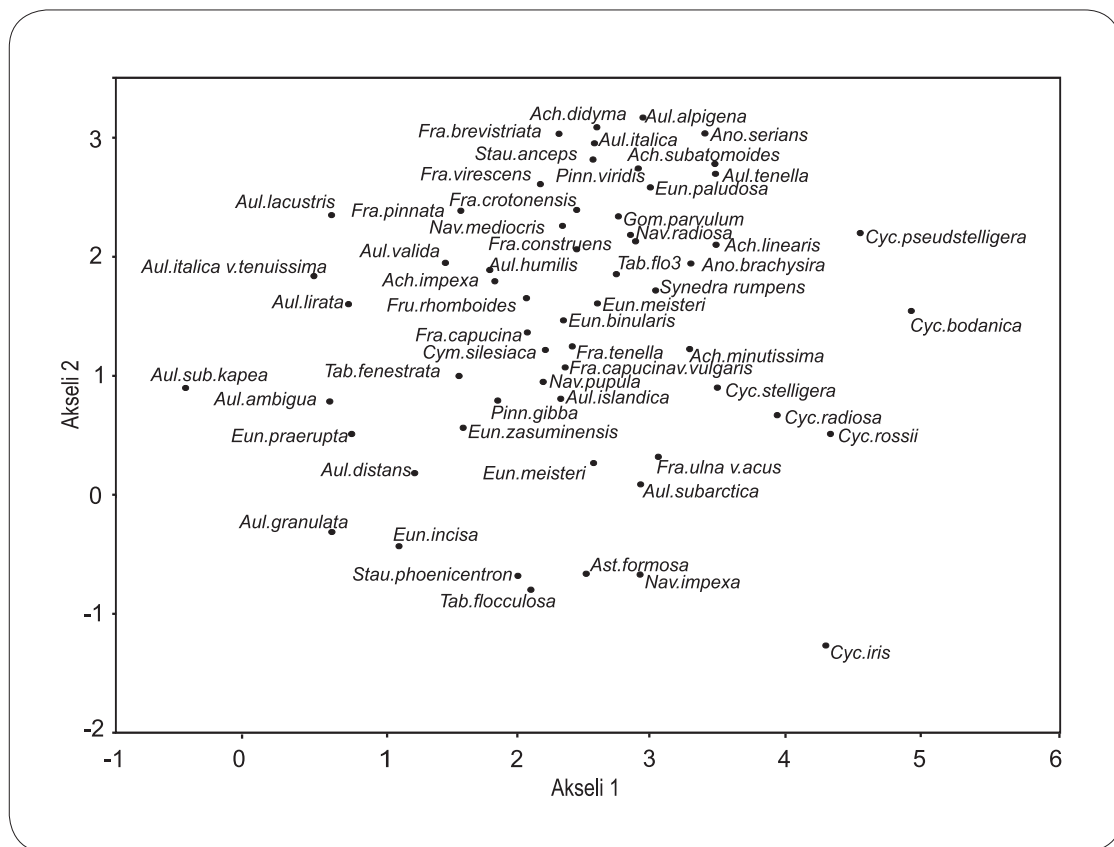
Järvikohtaiset näytesyvytydet on jaettu kahteen yhtenevään kuvaan veden tämän hetkisen värin mukaan. Ylemmässä kuvassa ovat järvet, joiden mitattu veden väri on alle 90 mg Pt l⁻¹ ja alemmassa kuvassa järvet joiden veden väri on sen yli, kuva 4.

Ordinaatiossa vaaleat järvet asettuvat oikeaan reunaan kun taas tummat vasempaan reunaan. 1-akselin näyttäisi lajiston perusteella ilmentävän ravinteisuutta. Pienillä 1-akselin arvoilla lajistot ilmentävät rehevyyttä, kun taas 1- akselia oikealle mentäessä ravinteisuus vähenee. 2-akselilla yläpähän asettuvat lajien mukaan runsashumuk-
sisten järvien näytteet, jolloin 2-akselia alaspäin vesien humuksisuus laskee.

Vaaleista järvistä Uramo, Pusonjärvi ja Halijär-
vi asettuvat oikeaan alakulmaan, ja niiden nyky-

tila on samanlainen kuin ennen eli ne ovat melko niukkaravinteisia ja vaaleavetisiä. Tuopanjärven tila on vedenlaadultaan aikoinaan muistuttanut edellä mainittuja, mutta nykyään se on selvästi muuttunut reheväksi ja tummaksi. Otmenjärvi ja Rauanjärvi muistuttavat lajistoltaan turvemaiden Naarvanjärveä, Harkkojärveä ja Hattujärveä. Ka-
joonjärven ja Keskijärven kehitys on ollut viime aikoina rehevämpään suuntaan, mutta lajistot ero-
avat kuitenkin toisistaan.

Tummista järvistä Koppelojärven nykyhetkeä kuvaava pintanäyte asettuu äärimmäiseksi vasem-
malle kuvaten rehevöitynyttä tilaa. Naarvanjär-
ven, Harkkojärven ja Hattujärven tila ei ole paljoa muuttunut, mutta jonkin verran kohti rehevämpää
vedenlaatua verrattaessa vanhimpiin näytteisiin.



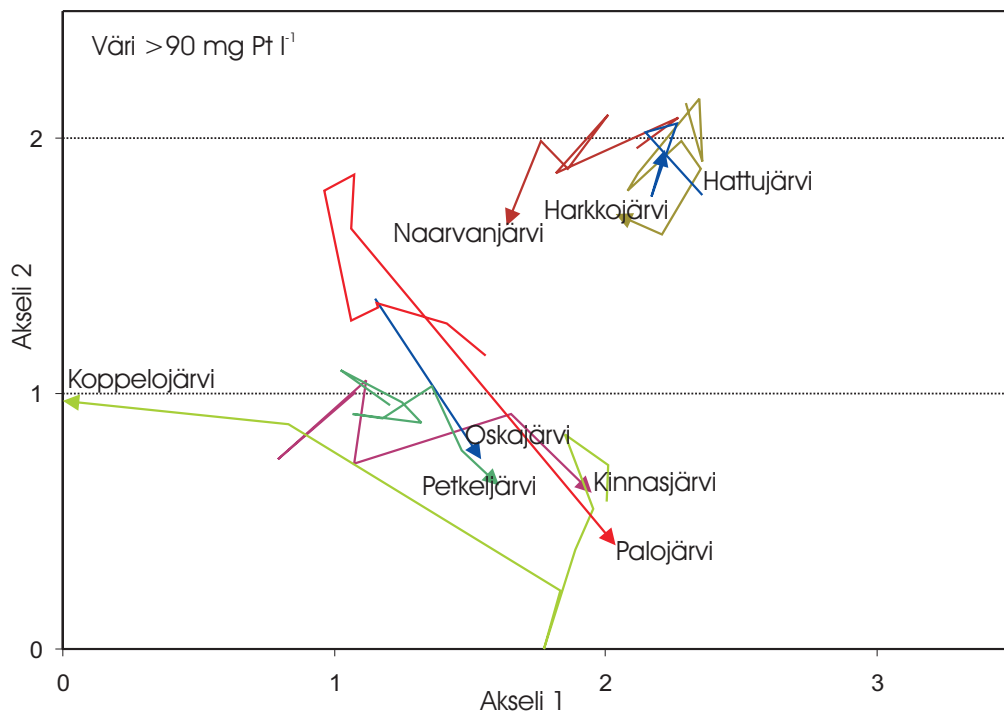
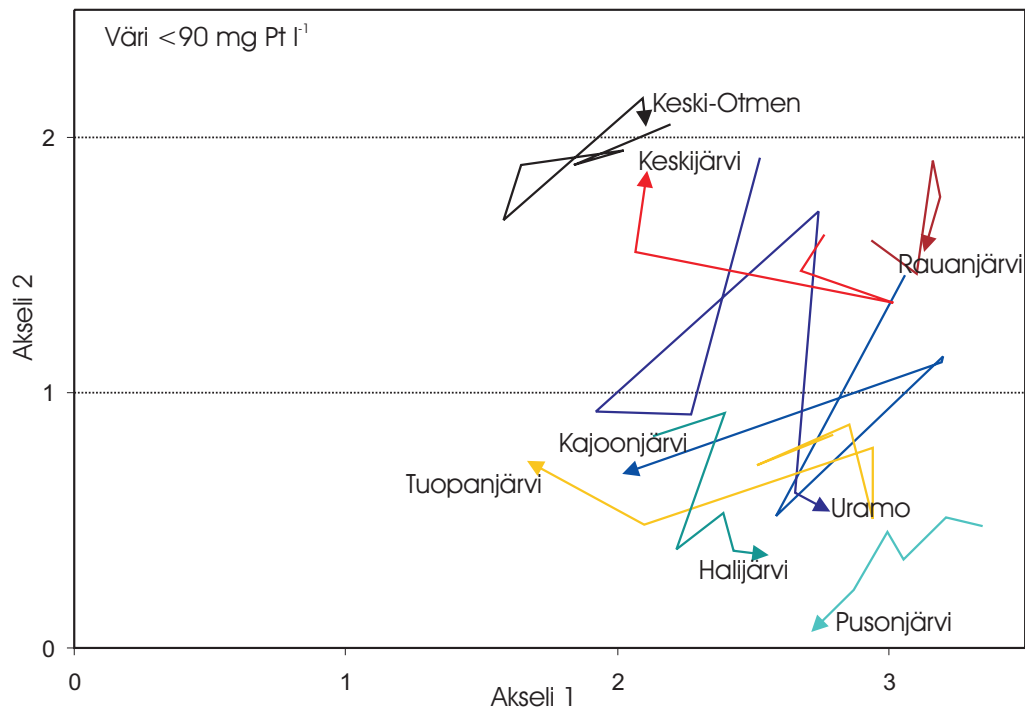
Kuva 3. DCA-ordinaatio hankejärvien sedimenttien näytesyvyyksien lajistosta. Lajien lyhenteet liitteen I taulukossa.

Palojärven, Kinnasjärven, Petkeljärven ja Oskajärven lajistot muistuttavat toisiaan. Palojärven lajistomuutoksissa on nähtävissä rehevöityminen – siirtyminen 1-akselilla vasempaan – ja palautuminen. Kinnasjärven ja Petkeljärven vedenlaatu on vaihdellut paljon.

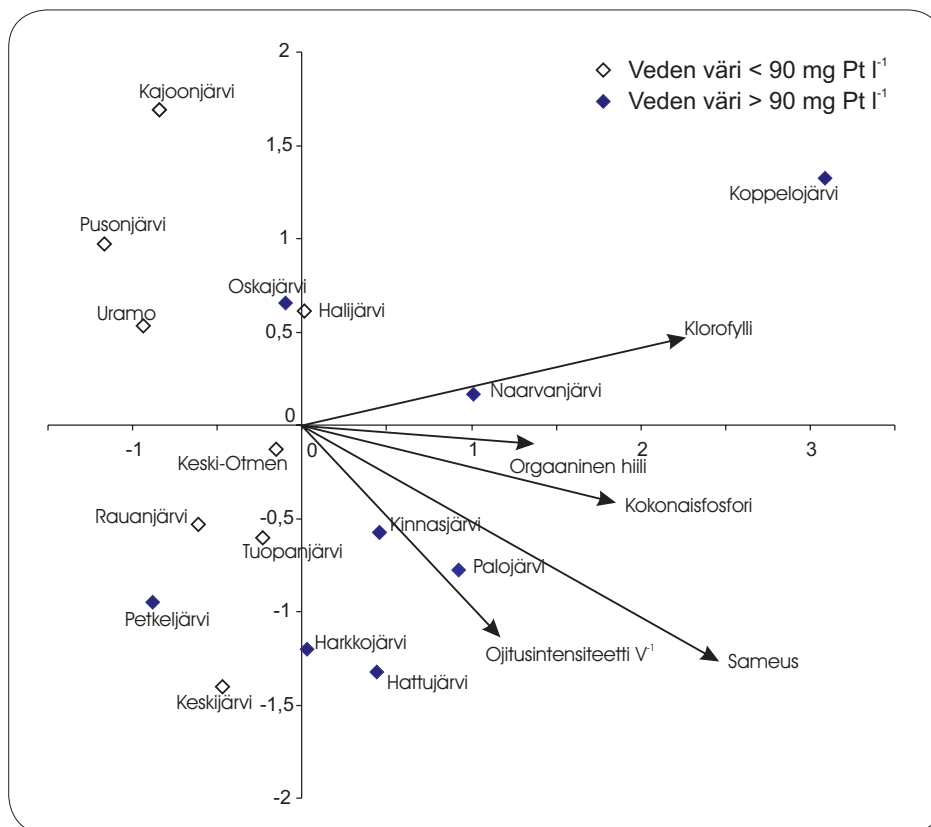
CCA-ordinaatiossa ovat mukana pintanäytteet ja niitä vastaavat ympäristötekijät, kuva 5. Eigenvaluearvot analyysille ovat 0,33 ja 0,23. Ympäristötekijöinä tilastollisesti merkittäviä ovat veden klorofyllipitoisuus, orgaaninen kokonaishiilipitoisuus, kokonaisfosforipitoisuus ja sameus sekä maankäyttömuodoista ojitusintensiteetin ja järven tilavuuden välinen suhde. Ordinaatiossa klorofyllipitoisuus ja kokonaisfosforipitoisuus korreloivat vahvimmin 1-akselin kanssa. 1-akselin oikeaan reunaan asettuvat rehevimmät järvet ja vasempaan päähän niukkaravinteisimmat järvet. CCA-ordinaation mukaan rehevin on selvästi Koppelojärvi, minkä jälkeen tulevat Naarvanjärvi, Palojärvi, Kinnasjärvi, Hattujärvi ja Harkkojärvi. Kajojärvi, Pusonjärvi ja Uramo ovat niukkaravinteisimpia, vähätuottoisimpia ja kirkkaimpia vedenlaadultaan ja niiden valuma-alueet on vähiten ojitettuja suhteessa järven tilavuuteen.



Palojärven luusua.



Kuva 4. DCA-ordinaatio näytesyvyyksistä. Ylemmässä kuvassa ovat vaaleat järvet ja alemmassa kuvassa tummat järvet



Kuva 5. CCA-ordinaatio hankejärvien pintanäytteistä.

4.4

Järvikohtaiset tulokset

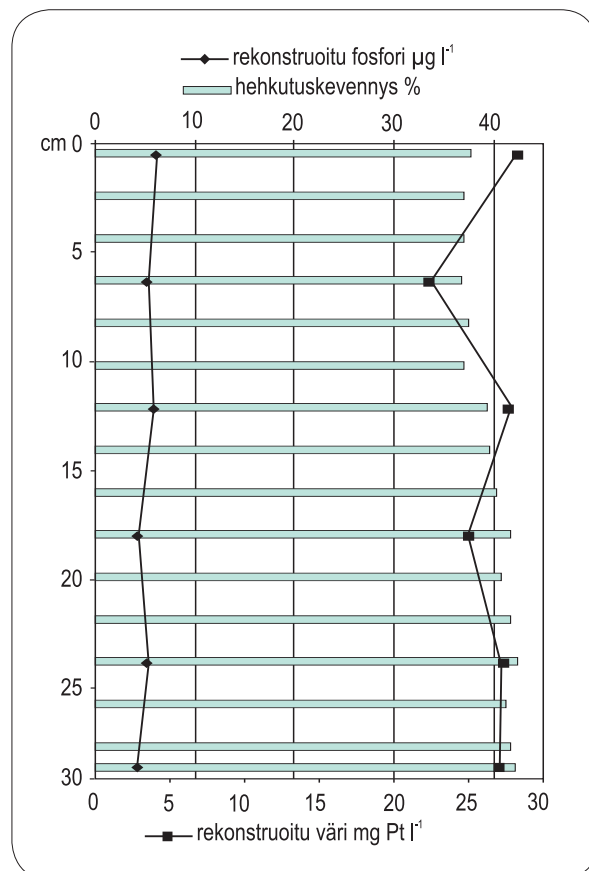
4.4.1

Pienet humusjärvet

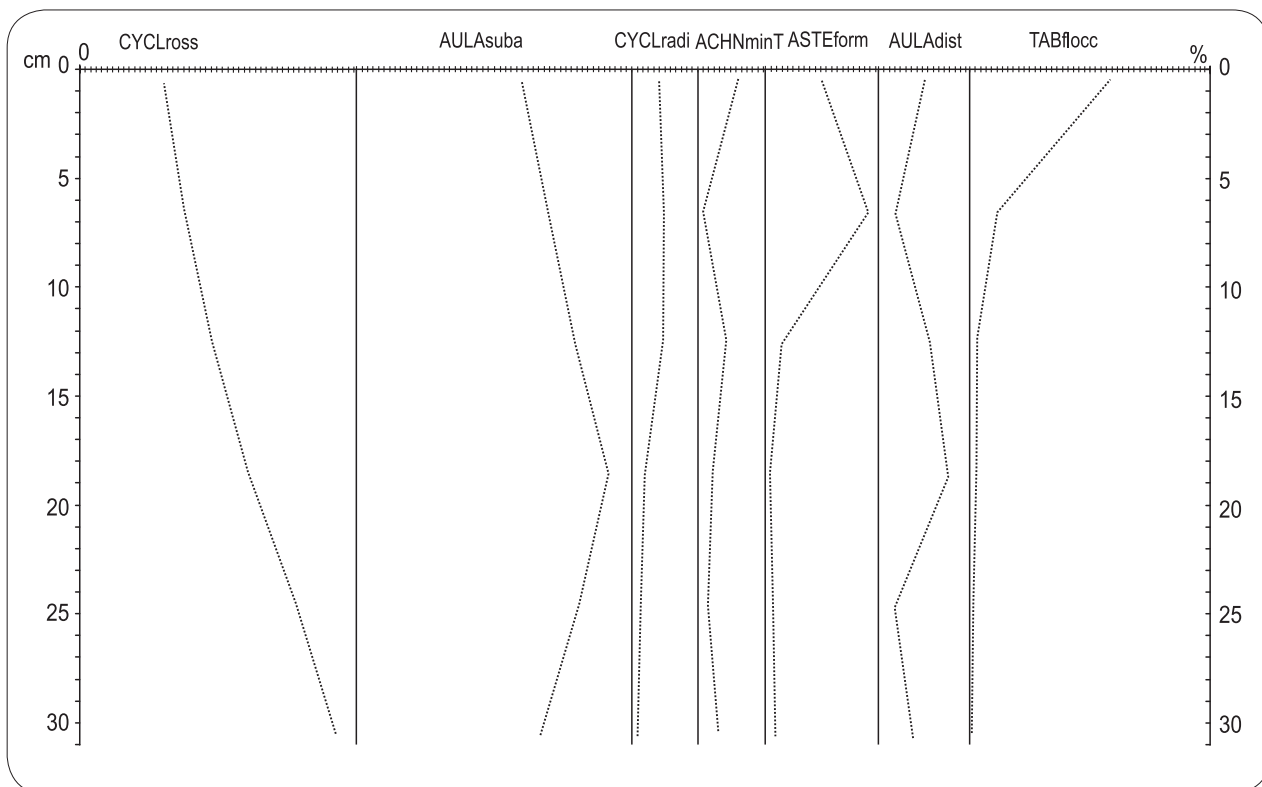
Pusonjärven näyte otettiin Kajak-noutimella. Näytteen pituus oli 38 cm ja koostumukseltaan se oli tummanruskeaa ja vetistä eikä siinä esiintynyt rakenteita. Näytepatsaan orgaanisen aineksen osuus pieneni hiukan 10 cm jälkeen pintaa kohden, mutta muita selviä merkkejä muutoksista siinä ei näkynyt, kuva 6.

Pusonjärven nokihiukkasajoituksen tulos oli selkeä (Hynynen 2005). Nokihiukkasten määrä lisääntyi 6-7 cm:n syvyydestä, minkä voidaan katsoa edustavan 1950-luvun kerrostumia, kuva 2. Vuotuiseksi sedimentin paksuuden kasvuksi saadaan keskimäärin 1,2 mm.

Pusonjärven piilevälajistossa planktisten lajien osuus laski pintaa kohden. Vanhimmissa näytteissä se oli noin 85 % ja nuorimmissa hie-man yli 60 %. Piilevälajistoa vanhoissa näytteissä hallitsivat *Cyclotella rossii* ja *Aulacoseira subarctica*, kuva 2, liite 2. Molemmat esiintyvät niukkaravinteisissa ja *C. rossii* lisäksi kirkkaissa vesissä. Pintaa kohden piilevälajistosta väheni lajin *C. rossii* osuus,



Kuva 6. Pusonjärven sedimentin hehkuskehviöt eri syvyyksillä sekä piileviin perustuvat veden kokonaisfosforin ja värin rekonstruktiot.



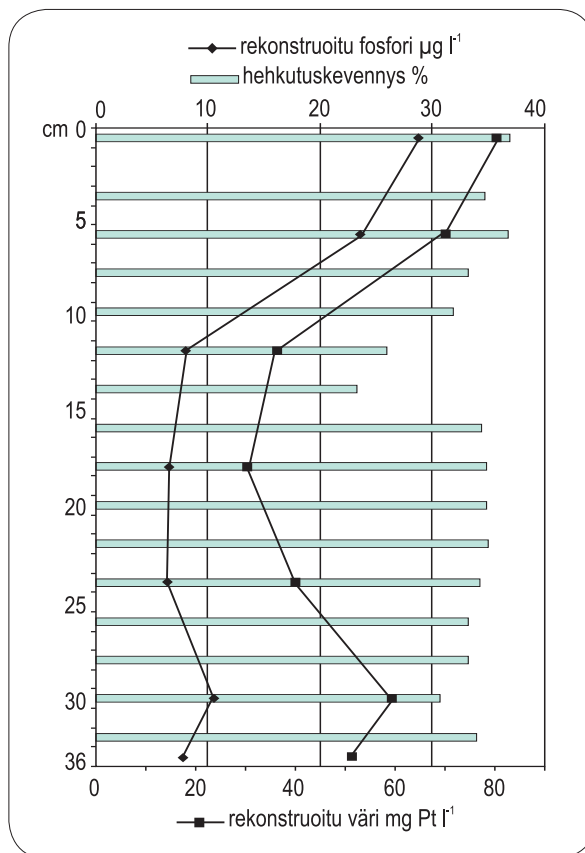
Kuva 7. Pusionjärven pohjasedimenttinäytteen piilevästratigrafia tärkeimpien lajien osalta. Pystyakselilla sedimenttinäytteen syvyys ja vaak-akselilla lajien osuudet, väli 1 %.

ja lisääntyi lajien *C. radiosa*, *Achnanthes minutissima*, *Tabellaria flocculosa*, ja *A. distans* osuus.

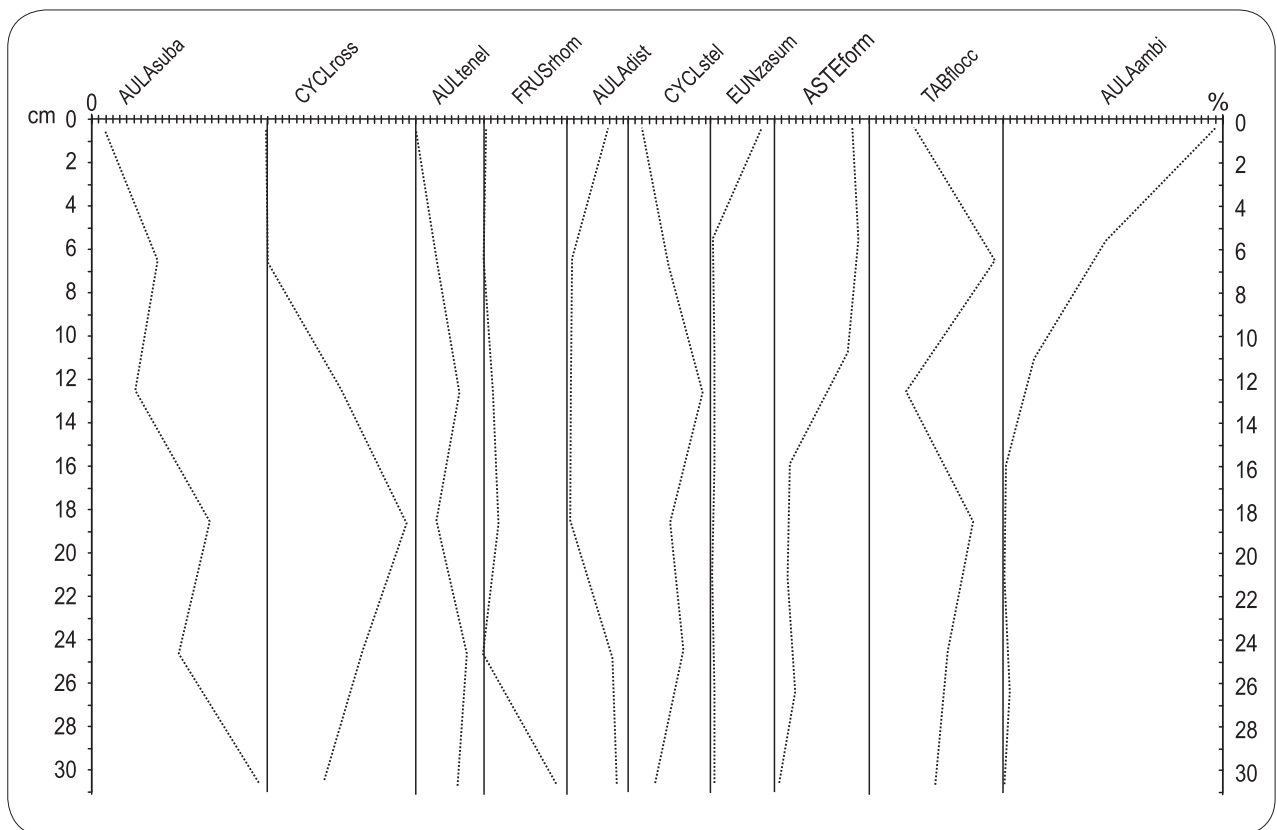
Veden fosforipitoisuus ja väriluku ovat piilevien avulla rekonstruoitujen arvojen mukaan pysyneet lähes samoina koko näytteen antaman ajanjakson. Fosfori on vaihdellut 4–6 $\mu\text{g l}^{-1}$ ja väri 25–30 mg Pt l^{-1} , kuva 6. Vesianalyysitulosten mukaan veden fosfori on ollut hieman alle 10 $\mu\text{g l}^{-1}$ ja väri vaihdellut 60–80 mg Pt l^{-1} .

Tuopanjärven sedimenttipatsaan pituus oli 42 cm. Koostumukseltaan ylin 0–20 cm oli tumman ruskeaa ja vetistä, 20–42 cm hieman vaalenevaa ja vähitellen tiivistyvää. Sedimenttipatsaan orgaanisen aineksen osuus oli tasaisesti hieman yli 30 % ennen 1950-luvulle ajoittuvia näytteitä, kuva 8. 12,5 cm syvyydessä, nokihiukkasanalyysillä arvioituna 1960–1970-lukujen aikaan minerogeenisen aineksen määrä nousi, minkä jälkeen se laski eli orgaanisen aineksen osuus kasvoi pintaa kohden.

Tuopanjärven nokihiukkasten määrä alkoi lisääntyä tasaisesti 13–14 cm:n syvyydestä ylöspäin, mutta hiukkasia esiintyi myös 16–17 cm:n syvyydessä, kuva 2. Niitä on kulkeutunut mahdollisesti satunnaisesti ilmajvirtausten mukana jo ennen 1950-lukua, joten 16–17 cm kerrostuman nokihiukkaset ovat mahdollisesti ajalta ennen 1950-lukua, jolloin 1950-luvun alun kerrostumat



Kuva 8. Tuopanjärven sedimentin hehkutushäviöt eri syvyyksillä sekä piileviin perustuvat veden kokonaisfosforin ja värin rekonstruktiot.



Kuva 9. Tuopanjärven pohjasedimenttinäytteen piilevästratigrafia tärkeimpien lajien osalta. Pystyakselilla sedimenttinäytteen syvyys ja vaaka-akselilla lajien osuudet, väli 1 %.

sijaitsisivat 13–14 cm:n syvyydessä. Tulos on epä-määräinen, joten 1950-luvun kerrostumien voidaan arvioida sijoittuvan 13–17 cm:n välille. Vuotuinen sedimentaatio olisi silloin keskimäärin, tulkinnasta riippuen, 2,5–3,1 mm (Hynynen 2005).

Tuopanjärven planktisten piilevälajien osuus on vanhimmassa näytteessä noin 67 %, mistä se laskee ollen minimissä 18 cm syvyydessä, noin 57 %, liite 2. Sen jälkeen osuus nousee pintaa kohden missä on maksimi, 72 %. Planktisten lajien osuuden väheneminen voi olla merkki veden alhaisesta pH:sta. Tuopanjärven vanhoissa näytteissä vallitsevia lajeja ovat mm. *Aulacoseira subarctica*, *A. distans*, *A. tenella*, *Tabellaria flocculosa*, *Frustulia rhomboides*, *Cyclotella rossii*, *Anomoeoneis brachysira* ja *C. stelligera*. 30 cm sedimenttisyvyyden jälkeen tulee lajistossa muutos, kun kirkkaiden vesien lajien *Cyclotella rossii* ja *Achnanthes subatomoides* osuudet nousevat ja tummien vesien lajien *Frustulia rhomboides* ja *Aulacoseira distans* laskee. 12,5 cm syvyydestä lähtien lisääntyvät rehevyyttä ilmentävien lajien *Aulacoseira ambigua*, *Cyclostephanos dubius*, *Eunotia zasuminensis* ja *Asterionella formosa* osuudet.

Maisema Uramolta.

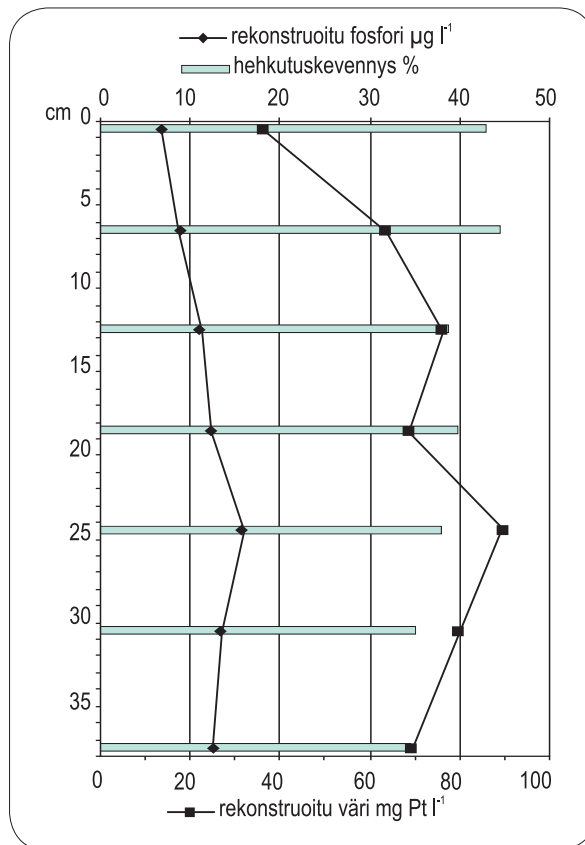
Tuopanjärven veden fosforipitoisuus on rekonstruoitujen arvojen perusteella ollut alle 10 $\mu\text{g l}^{-1}$, kuva 8, mutta noussut nykypäivää kohti lähemmäksi 30 $\mu\text{g l}^{-1}$. Veden väri on aikaisemmin ollut tummaa, 50–60 mg Pt l^{-1} , mistä se on laskenut välillä noin puoleen ja on nykyään noin 70–80 mg Pt l^{-1} . Vesianalyysien perusteella pintaveden loppukesän fosforipitoisuus on ollut 10–14 $\mu\text{g l}^{-1}$ välillä ja väriluku vaihdellut 60–130 mg Pt l^{-1} .



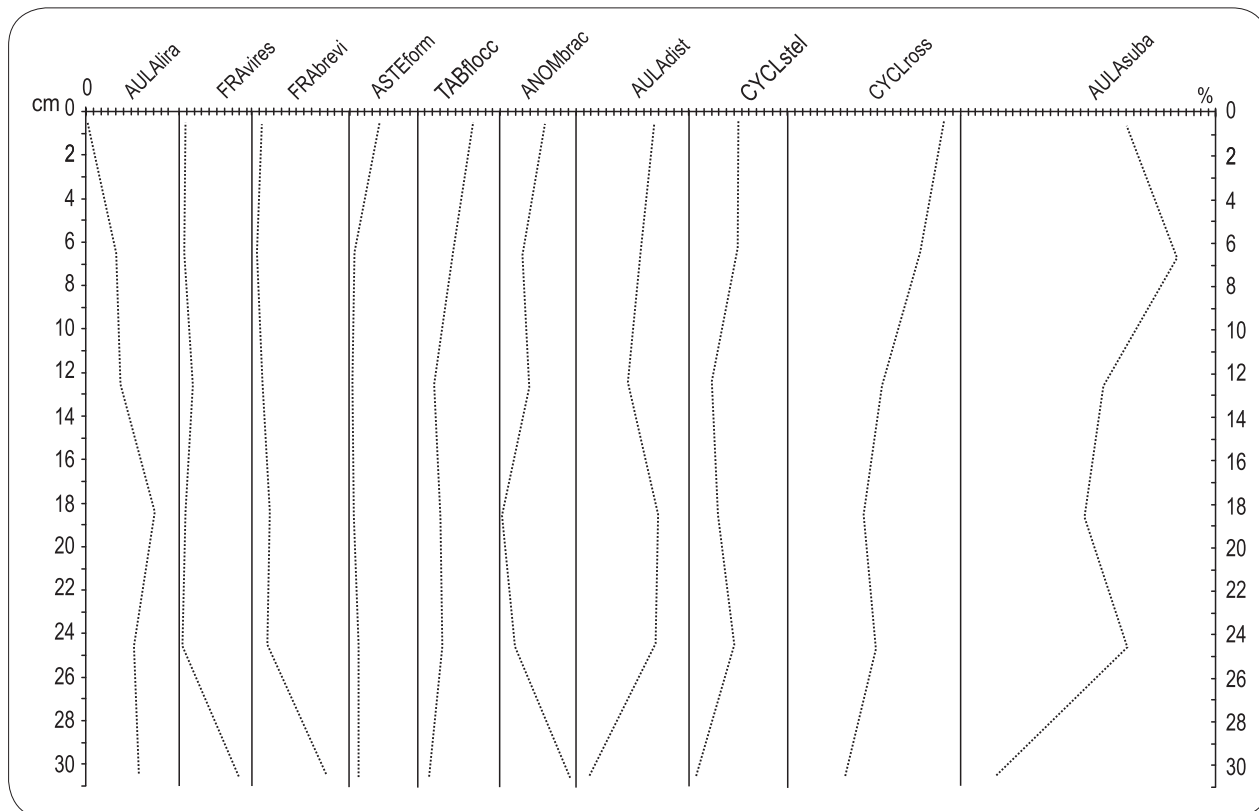
Uramosta otettu sedimenttipatsas oli 38 cm pitkä. Sen orgaanisen aineksen osuus kasvaa jonkin verran sedimentin nuoria näytteitä kohden, kuva 10.

Uramon planktisten piilevälajien osuus vaihtelee 60–75 % välillä, liite 2. 30 cm syvyydessä on vahva minimi. Planktisten lajien osuus on pysynyt suunnilleen samana vuosien aikana. Lajistoa hallitsee yleisesti kaikissa syvyyksissä neutraalien ja suhteellisen niukkaravinteisten vesien *Aulacoseira subarctica*, kuva 11, liite 2. Sen osuus on lähes joka näytteessä 25 % koko lajistosta. Vanhimmissa näytteissä runsailla osuuksilla ovat humusjärvien *A. lacustris*, *A. alpigena*, *A. distans*, *A. lirata*, ja kirkkaiden vesien *C. rossii* ja *C. stelligera*. Pintaa kohden nousevat *Achnanthes minutissima*, *Anomoeois brachysira*, *A. ambigua* ja *Tabellaria flocculosa*.

Veden fosforipitoisuus on piilevien avulla rekonstruoitujen arvojen mukaan ollut aikaisemmin 10–15 $\mu\text{g l}^{-1}$, mutta laskenut viime aikoina alle 10 $\mu\text{g l}^{-1}$, kuva 10. Väri on aikaisemmin ollut noin 70–90 mg Pt l^{-1} . Nykyään se on noin 40 mg Pt l^{-1} . Mitattu pintaveden fosforipitoisuus on ollut alle 10 $\mu\text{g l}^{-1}$ ja väri 80–120 mg Pt l^{-1} .



Kuva 10. Uramon sedimentin hehkutushäviöt eri syvyyksillä sekä piileviin perustuvat veden kokonaisfosforin ja värin rekonstruktiot.

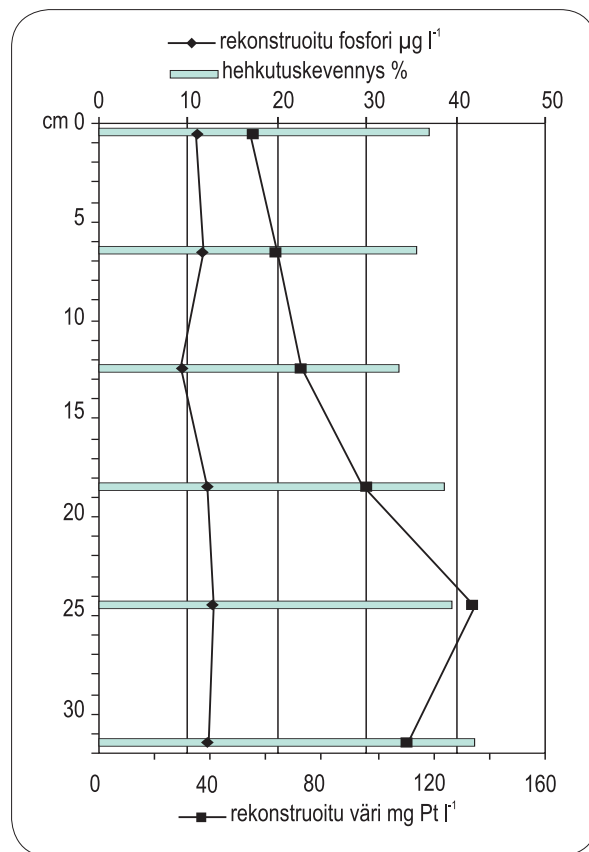


Kuva 11. Uramon pohjasedimenttinäytteen piilevästratigrafia tärkeimpien lajien osalta. Pystyaksella sedimenttinäytteen syvyys ja vaaka-aksella lajien osuudet, väli 1 %.

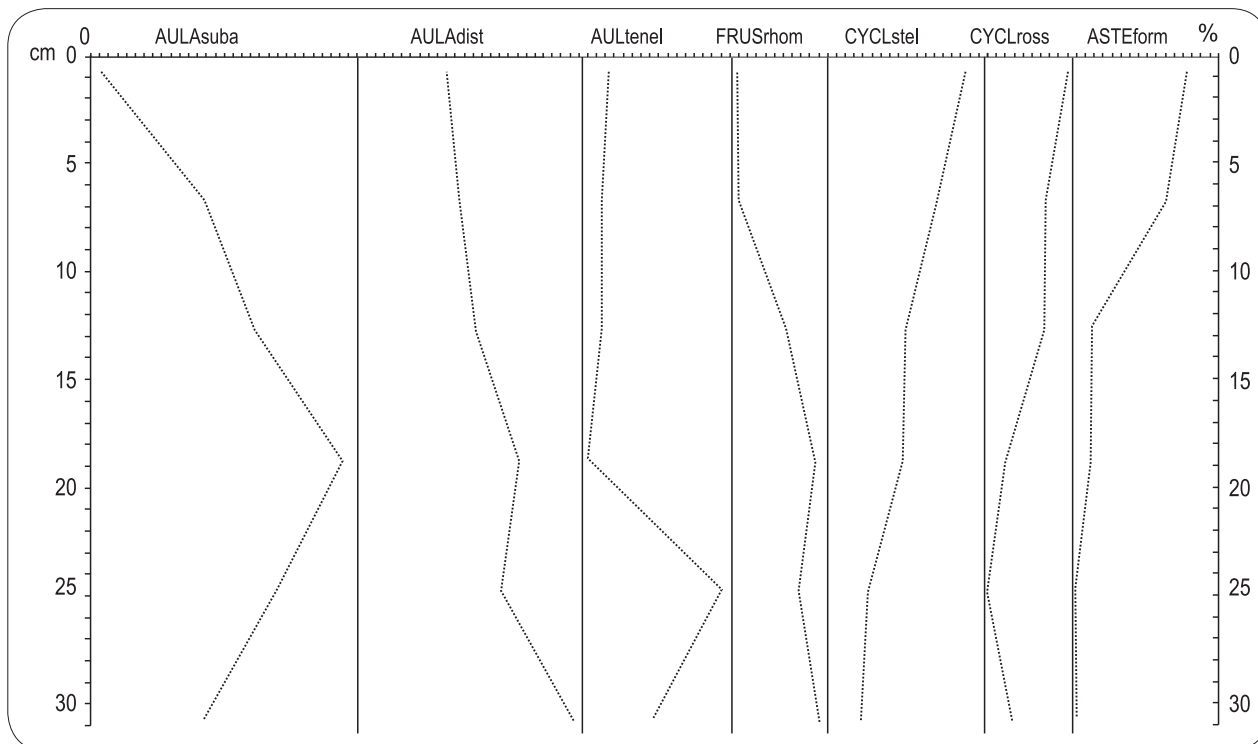
Halijärveltä saatiin 34 cm mittainen sedimenttipat-sas, joka oli koostumukseltaan suhteellisen vetistä orgaanista ainesta. Yläosa, 0–17 cm, oli tummanrus-keaa. 17–18 cm syvyydessä sedimentti oli hieman vaaleampaa ja siinä oli savea seassa. Sedimentin orgaanisen aineksen osuus vaihteli 34–42 % välil-lä, kuva 12. 12,5 cm kohdalla oli hehkutuskeven-nyksessä lasku merkiten minerogeenisen aineksen määrän kasvua. Sen jälkeen orgaanisen aineksen määrä taas nousi.

Planktisten piilevälajien osuudet sedimenttipat-saan eri syvyyksissä vaihtelivat 60–75 % välillä, lii-te 2. Mitään selvää suuntaa lajiosuuksien muutok-sissa ei ollut. Yleisiä lajeja vanhimmissa näytteissä olivat lähinnä hapahkoissa humusvesissä viihtyvät *Anomoeoneis brachysira*, *Eunotia*-suvun lajit kuten *E. meisteri*, *Aulacoseira distans*, *A. subarctica*, *A. lirata*, *A. distans* var *tenella*, neutraalimmissä sekä niuk-karavinteisissä vesissä esiintyvät *A. subarctica* ja *Frustulia rhomboides*, kuva 13, liite 2. Pintakerroksia kohden lisääntyivät *Tabellaria flocculosa*-lajin muo-dot, *Fragilaria capucina*, *Cyclotella*-lajit, *Asterionella formosa* ja *Achnanthes minutissima*.

Veden fosforipitoisuus on piilevien avulla rekonstruoitujen arvojen mukaan vaihdellut 10–12 $\mu\text{g l}^{-1}$ välillä, kuva 12. Väriluku sen sijaan näyttäi-si laskeneen: aikaisemmin se oli yli 100 mg Pt l^{-1} ja nykyään noin 50 mg Pt l^{-1} . Vuosien 2004–2006 pintaveden loppukesän analyysien mukaan fos-foripitoisuus on ollut 18–19 $\mu\text{g l}^{-1}$ ja väri 110–140 mg Pt l^{-1} .



Kuva 12. Halijärven sedimentin hehkutushäviöt eri syvyyksillä sekä piilevillä rekonstruoidut veden kokonaisfosfori ja väri.



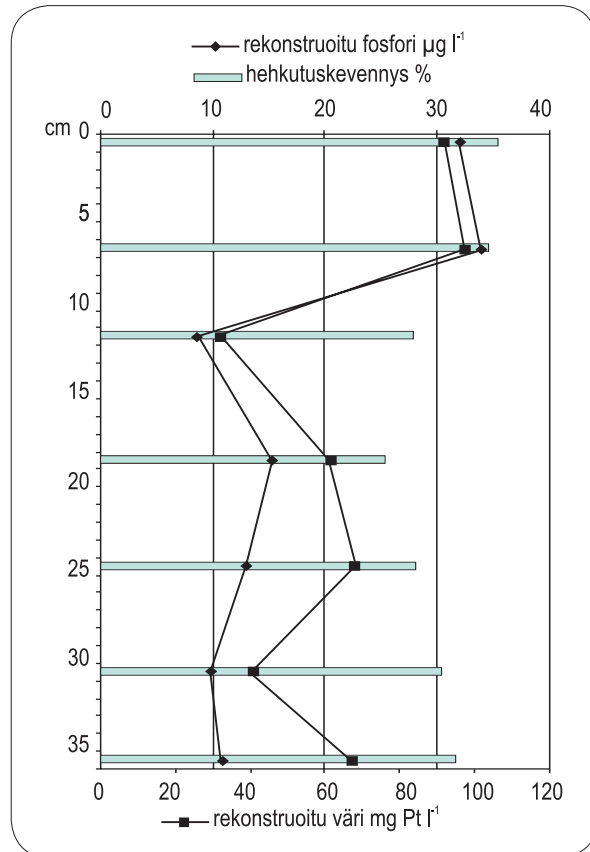
Kuva 13. Halijärven pohjasedimenttinäytteen piilevästratigrafia tärkeimpien lajien osalta. Pystyakselilla sedimenttinäytteen syvyys ja vaakakselilla lajien osuudet, väli 1 %.

Keskijärven Kajak-noutimella saatu sedimenttipatsas oli 36 cm: 0–23 cm siitä oli mustaa liejua ja alin 23–36 cm savista. Sedimentin orgaanisen aineksen osuus oli vanhimmissa näytteissä noin 30 %, kuva 14. Minimim se saavutti 18,5 cm syvyydessä, minkä jälkeen se nousi 6,5 cm:stä ylöspäin huomattavasti.

Keskijärven sedimenttinäytteen nokihiukkasanalyysistä ei saatu tarkkoja tuloksia, koska näytteiden siivujen välitys oli liian suuri. Nokihiukkasia oli 18–19 cm näytteissä, mutta ei enää 24–25 cm näytteissä, kuva 2. Tulosten mukaan voidaan arvioida, että 1950-luvun kerrostumat sijaitsevat 18–24 cm:n syvyydessä (Hynynen 2005).

Keskijärven pohjasedimentin planktisten piilevien osuus on yleisesti melko matala koko patsaan osuudelta. Osuus nousee hieman pintaa kohden, ollen 6–7 cm syvyydessä maksimissaan yli 50 %, liite 2. Järven piilevälajisto on vanhoissa näytteissä tyypillistä humusvesille, yleisiä ovat *Eunotia*-suvun lajit, *Tabellaria flocculosa*, *Anomoeoneis brachysira* sekä *Aulacoseira*-suvun humusvesien niukkaravinteisuutta ilmentävät lajit, kuva 15, liite 2. Näytepatsaan keskivaiheilla lisääntyvät *Fragilaria capucina*, *Aulacoseira italica*, *A. subarctica* ”korkea muoto” sekä kirkkaitten vesien *Cyclotella rossii*. Pinnimmaisissa näytteissä hallitsevat rehevien vesien lajit *Fragilaria construens* var *vulgaris*, *Aulacoseira italica* ja sen *tenuissima*-muoto, *Fragilaria brevistriata*, *Achnanthes minutissima* sekä *Fragilaria crotonensis*.

Veden fosforipitoisuus on piilevillä rekonstruoidujen arvojen mukaan ollut aikaisemmin noin 10–15 $\mu\text{g l}^{-1}$ ja väriarvot noin 40–70 mg Pt l^{-1} , kuva 14. Nykyään kokonaisfosfori on yli 30 $\mu\text{g l}^{-1}$ ja väri lähes

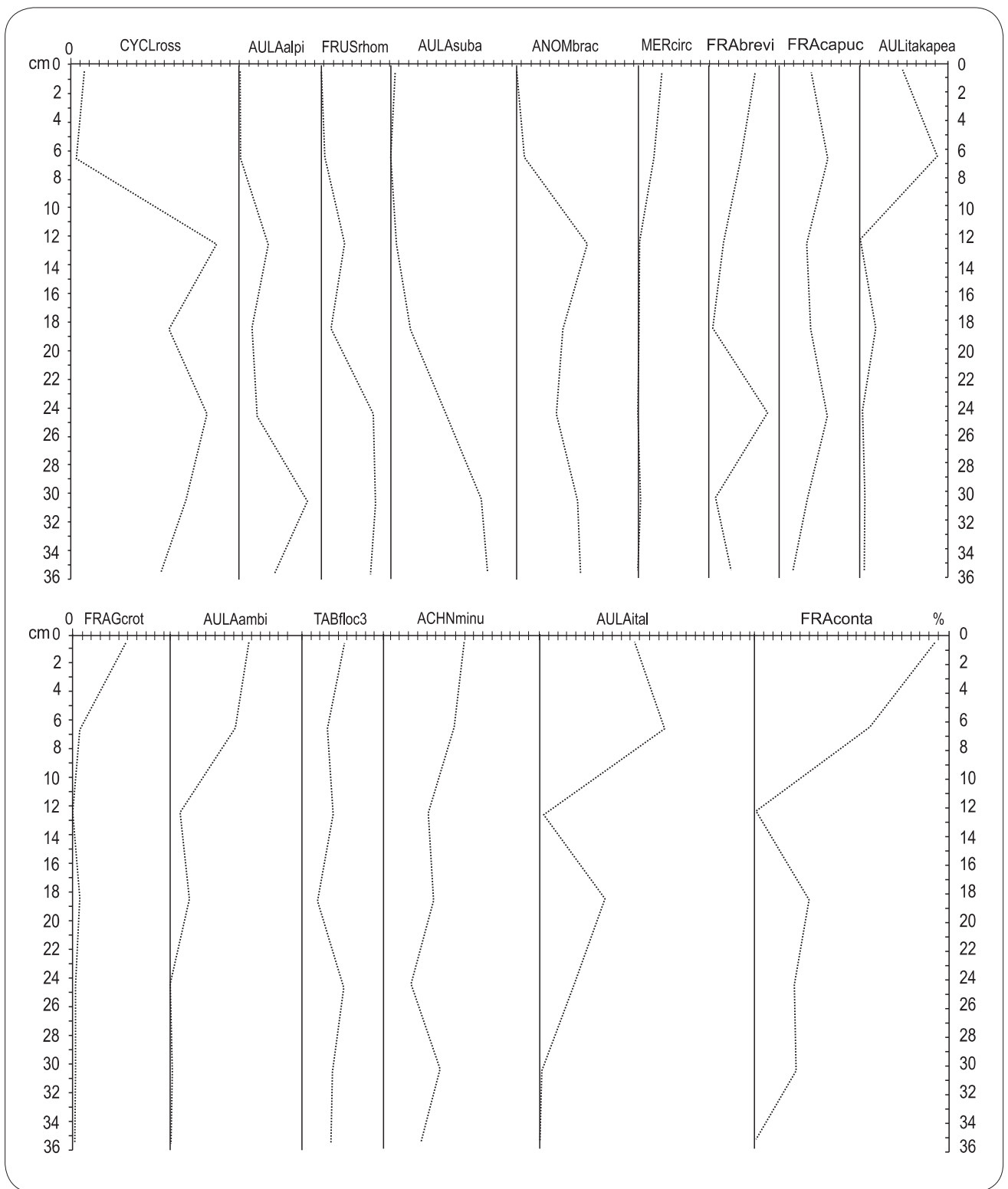


Kuva 14. Keskijärven sedimentin hehkutushäviöt eri syvyyksillä sekä piileviin perustuvat veden kokonaisfosforin ja värin rekonstruktiot.

100 mg Pt l^{-1} . Vesianalyysien mukaan pintaveden kokonaisfosfori on vaihdellut 12–22 $\mu\text{g l}^{-1}$ ja väri 30–60 mg Pt l^{-1} .



Keskijärven maisemaa.

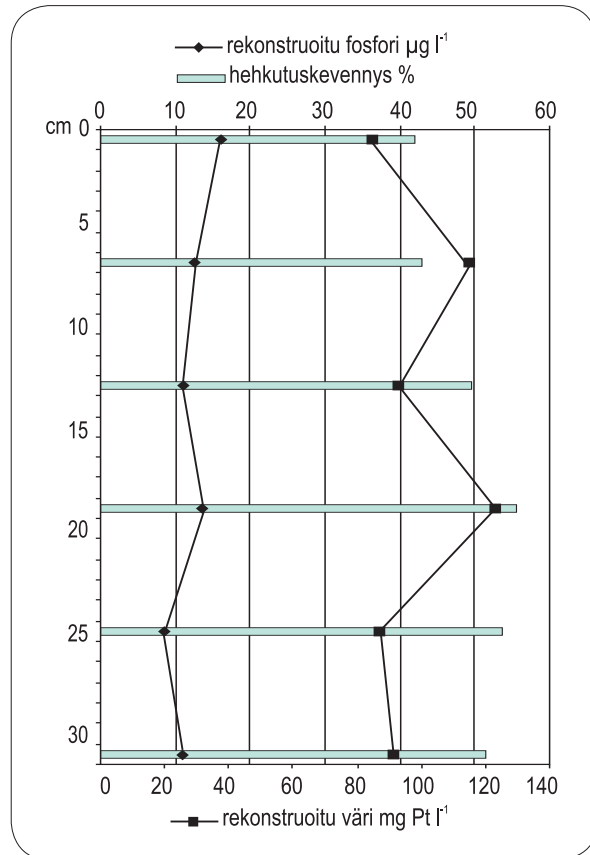


Kuva 15. Keskijärven pohjasedimenttinäytteen piilevästratigrafia tärkeimpien lajien osalta. Pystyakselilla sedimenttinäytteen syvyys ja vaaka-akselilla lajien osuudet, väli 1 %.

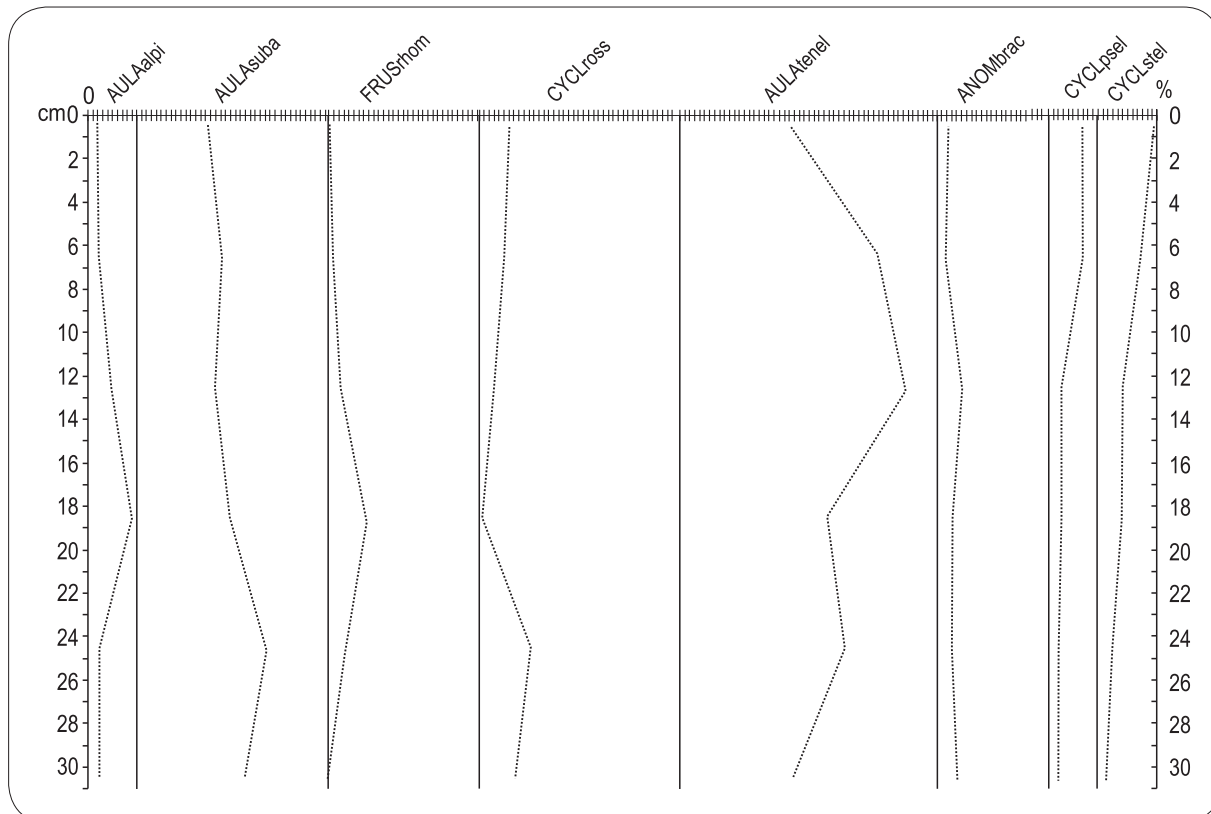
Rauanjärvestä saatiin 31 cm pituinen sedimenttipatsas, jonka orgaanisen aineksen määrä vaihteli 42–58 % välillä, kuva 16. Sedimenttipatsaassa 6,5–12,5 cm syvyydestä ylöspäin nousi mineroogeenisen aineksen osuus.

Pohjasedimentin syvimmissä eli vanhimmissa näytteissä piilevälajistoa hallitsevat *Aulacoseira tenella*, *A. subarctica* ja *Cyclotella rossii*, kuva 17, liite 2. Pintanäytteissä eli nykyhetkeä kohden em. lajien osuudet vähenevät ja lajien *Cyclotella stelligera*, *C. pseudostelligera*, *C. radiosa*, *Tabellaria flocculosa* ja *Aulacoseira italica* osuudet kasvavat. Planktisten piilevälajien osuus nousee jonkin verran vanhoista näytteistä, mutta suuria muutoksia sedimenttipatsaan eri tasojen välillä ei ole.

Veden fosforipitoisuus on piilevillä rekonstruoidujen arvojen mukaan ollut noin $10 \mu\text{g l}^{-1}$. Nuoria näytteitä kohden pitoisuus nousee ja on nyt noin $17 \mu\text{g l}^{-1}$, kuva 16. Veden väri on vaihdellut noin $90\text{--}120 \text{ mg Pt l}^{-1}$ ja näyttäisi olevan nyt samalla tasolla kuin aikaisemminkin. Mitattujen vedenlaatuarvojen mukaan pintaveden loppukesän kokonaisfosfori on vaihdellut $11\text{--}14 \mu\text{g l}^{-1}$ ja väri $90\text{--}140 \text{ mg Pt l}^{-1}$.



Kuva 16. Rauanjärven sedimentin hehkutushäviöt eri syvyyksillä sekä piilevillä rekonstruoidut veden kokonaisfosfori ja väri.



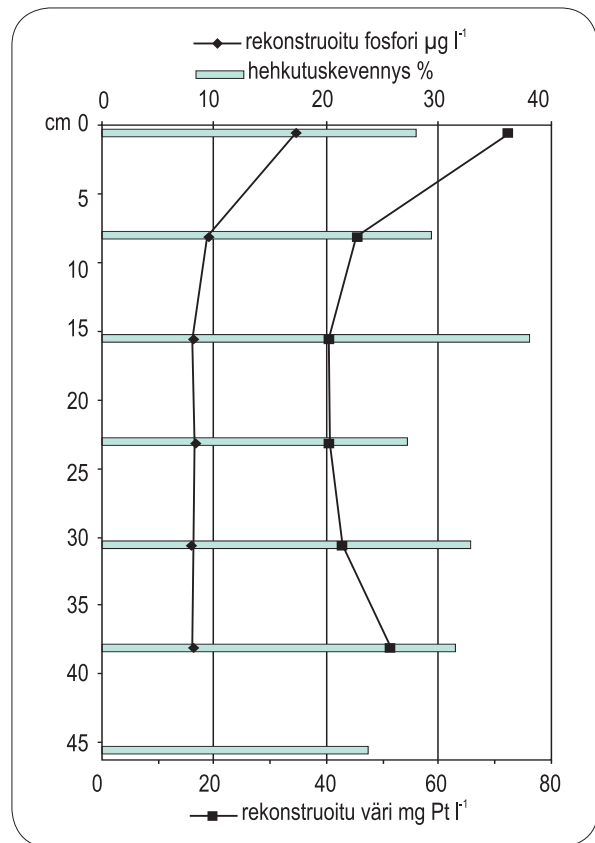
Kuva 17. Rauanjärven pohjasedimenttinäytteen piilevästratigrafia tärkeimpien lajien osalta. Pystyakselilla sedimenttinäytteen syvyys ja vaak-akselilla lajien osuudet, väli 1 %.

Keskikokoiset humusjärvet

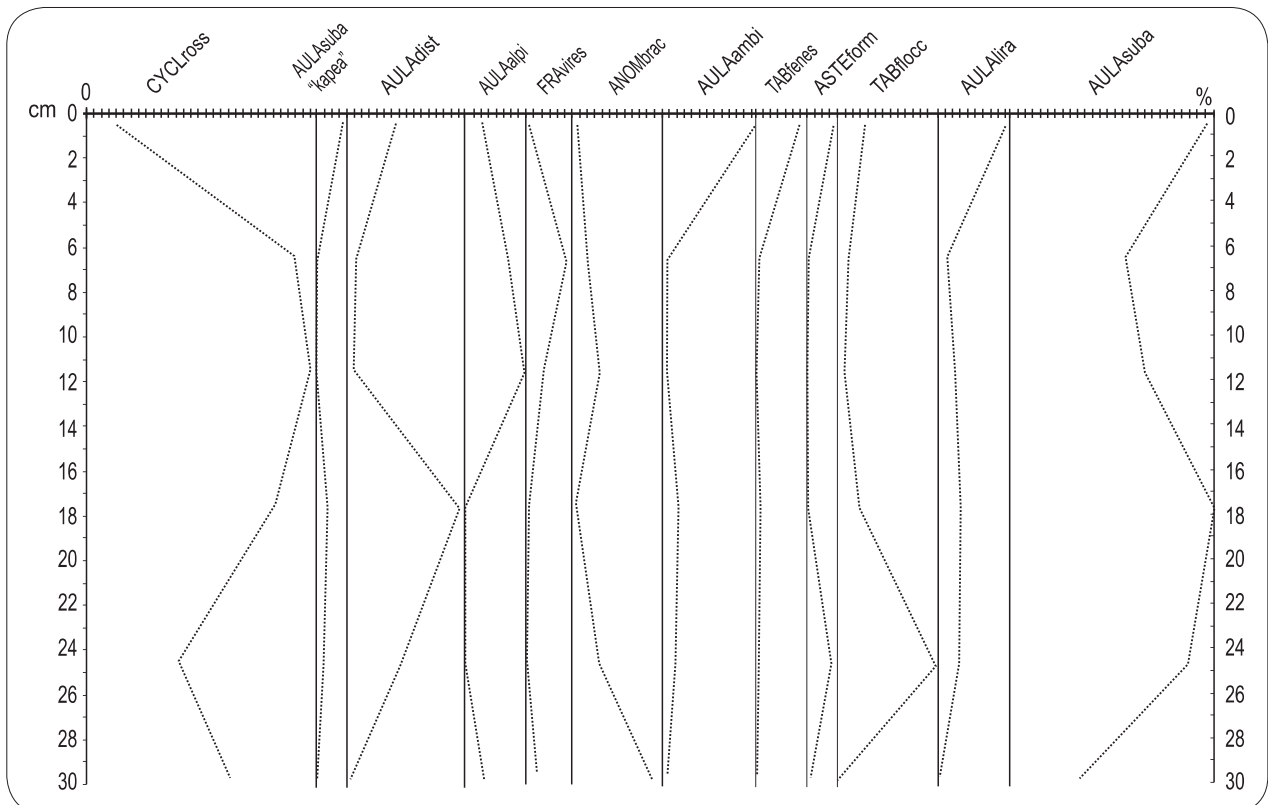
Kajoonjärvestä saatiin Kajak-noutimella 37 cm pituinen sedimenttipatsas, joka oli koostumukseltaan tasalaatuista (homogeenistä). Sedimenttipatsaan alimpien osien orgaanisen aineksen osuus on matala, noin 25 %. 18,5 cm ja 6,5 cm ylöspäin nousee minerogeenisen aineksen osuus, kuva 18.

Kajoonjärven pohjasedimentin piilevälajistossa planktisten lajien osuus vanhimmissa näytteissä on hieman alle 50 %, mistä se nousee ollen pinnassa noin 80 %, liite 2. Vanhimmissa näytteissä hallitsevat niukkaravinteisissa ja humuspitoisissa vesissä viihtyvät *Aulacoseira subarctica*, *Frustulia rhomboides* sekä kirkkaita ja niukkaravinteisia vesiä suosiva *Cyclotella rossii*, kuva 19, liite 2. Noin 18 cm tasolla lisääntyvät happamille humusvesille tyypillisten lajien *Aulacoseira distans*, *A. lacustris* ja *Eunotia*-suvun osuudet. Nuorissa näytteissä yleisiä ovat lievästi humuspitoisten ja niukkaravinteisten järvien lajit *A. subarctica*, *A. lirata*, mutta myös rehevyyttä indikoivat lajit *Asterionella formosa*, *Tabellaria fenestrata* ja *A. ambigua*.

Veden väri ja fosforipitoisuus ovat Kajoonjärven nousseet piilevillä rekonstruoitujen arvojen perusteella viime aikoina. Fosforitaso on aikaisemmin ollut alle 10 $\mu\text{g l}^{-1}$, mutta on ylimmissä näytteissä



Kuva 18. Kajoonjärven sedimentin hehkutushäviöt eri syvyyksillä sekä piilevillä rekonstruoidut veden kokonaisfosfori ja väri.



Kuva 19. Kajoonjärven pohjasedimenttinäytteen piilevästratigrafia tärkeimpien lajien osalta. Pystyakselilla sedimenttinäytteen syvyys ja vaaka-akselilla lajien osuudet, väli 1 %.

selvästi yli $10 \mu\text{g l}^{-1}$, kuva 18. Veden väri on lisäksi tummunut; aikaisemmin se oli noin 50 mg Pt l^{-1} , mutta nykyään se on noin 70 mg Pt l^{-1} . Kajaanjärven pintaveden loppukesän vesinäytteistä analysoitu kokonaisfosforipitoisuus on 1970-80-luvuilla ollut yli $15 \mu\text{g l}^{-1}$ ja 2000-luvun vaihteessa hieman alle $10 \mu\text{g l}^{-1}$. Hankkeen aikana loppukesän arvot ovat olleet $10\text{--}14 \mu\text{g l}^{-1}$ ja väriarvot $60\text{--}90 \text{ mg Pt l}^{-1}$.

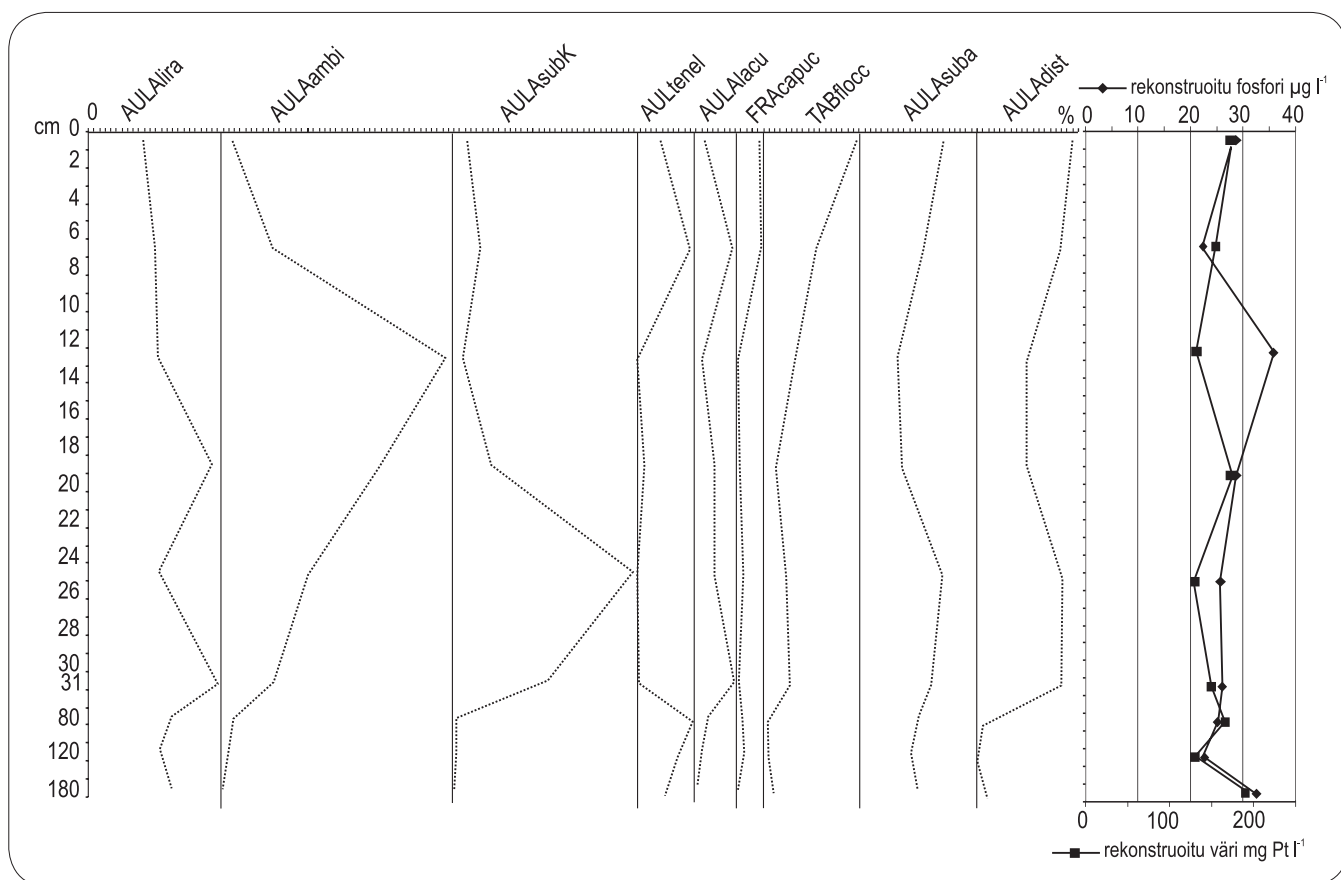
4.4.3

Runsashumuksiset järvet

Kinnasjärvestä oli saatavilla useita sedimenttinäytteitä. Hankkeessa haettu Kajak-näyte oli 30 cm mittainen. Sen lisäksi oli sedimenttinäytteitä syvistä kerroksista, jotka on saatu Hannu Pajusen Geologian tutkimuskeskuksessa vetämästä Järvisedimentit kuiva-aineen ja hiilen nieluina – hankkeesta (Pajunen 2004). Syvimät näytteet olivat 85 cm, 130 cm ja 180 cm syvyydestä. Kinnasjärven vedenlaadun muutosten tulkinnat ovat sedimentin piilevälaajistojen perusteella.

Kinnasjärven pohjasedimentistä analysoitujen planktisten piilevälaajien osuus vaihtelee $50\text{--}80 \%$ eri syvyyksissä, liite 2. Vertailutilan syvyydessä (n. 30 cm) planktisten lajien osuus on $70\text{--}80 \%$, mistä se laskee pintaa kohden. Sedimenttipatsaan vanhimmissa näytteissä ovat valtalajeina humusvesien *Aulacoseira lirata*, *A. distans*, *A. subarctica* ja rehevien vesien *A. ambigua* sekä *Tabellaria fenestrata* ja *T. flocculosa*, kuva 20, liite 2. Pintaa kohden lisääntyvät eutrofiaa ilmentävien lajien *Eunotia zasuminensis* ja *Asterionella formosa* osuus. Lajien osuudet vaihtelevat suuresti eri sedimenttikerroksissa.

Kinnasjärven veden fosforipitoisuus ja väri vaihtelevat huomattavasti piilevillä rekonstruoidujen arvojen perusteella. Vanhimpien näytteiden arvot ovat korkeita, kuva 20. Veden fosforitaso on vaihdellut noin $25\text{--}35 \mu\text{g l}^{-1}$ välillä ja väriarvot olleet noin 50 mg Pt l^{-1} . Vedestä mitatut pitoisuudet ovat vaihdelleet kokonaisfosforin osalta $18\text{--}25 \mu\text{g l}^{-1}$ välillä ja värin osalta $100\text{--}200 \text{ mg Pt l}^{-1}$.

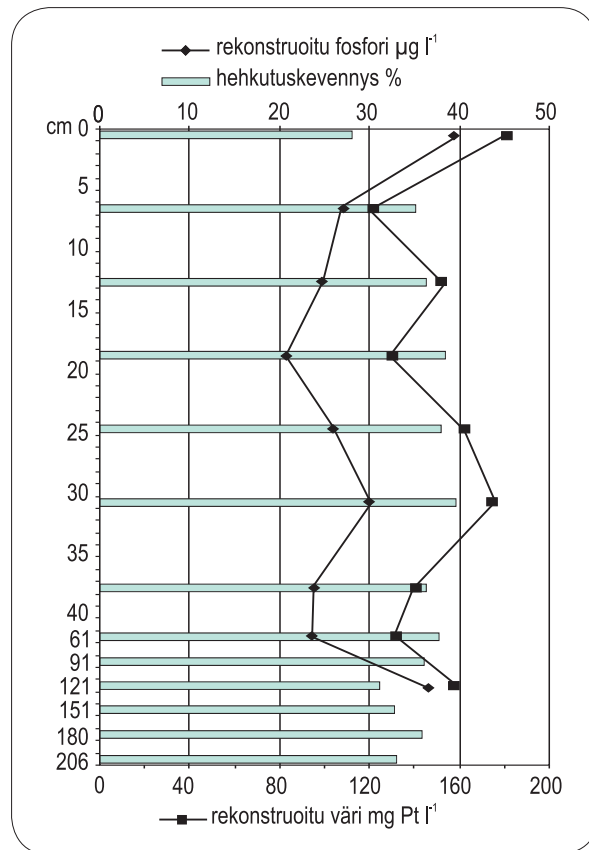


Kuva 20. Kinnasjärven pohjasedimenttinäytteen piilevästratigrafia tärkeimpien lajien osalta sekä piilevillä rekonstruoidut veden kokonaisfosfori ja väri. Pystyakselilla sedimenttinäytteen pituus 31 cm asti 1 cm välein. Vaaka-akselilla lajien osuudet, väli 1 %.

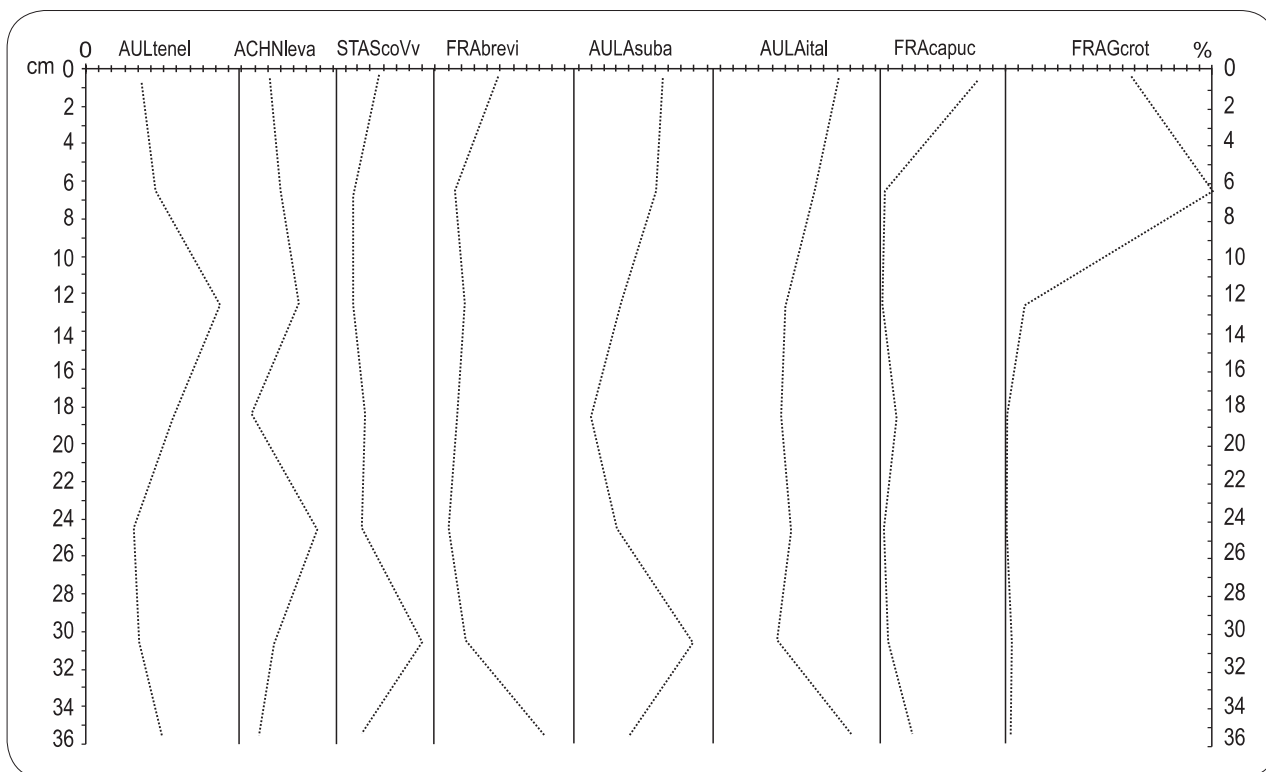
Harkkojärvestä otettiin sedimenttinäytteet sekä junttakairalla, 129 cm, että Kajak-noutimella, 39 cm. Sedimentti oli koostumukseltaan tummanruskeaa orgaanista liejua ja erittäin vesipitoista, eikä siinä ollut havaittavissa rakenteita. Junttakairan näyte saattaa olla sekoittunut, joten se ei ollut suoraan käytettävissä analyysihin. Hehkutuskevennys tehtiin 6 cm välein 36,5 cm asti (Kajak-näyte) ja sen jälkeen 30 cm välein (mukana näytteitä junttakairasta). Piilevät määritettiin 6 cm välein 37 cm asti Kajak-näytteestä ja sen lisäksi varsikairanäytteestä 61 ja 121 cm syvyydestä.

Harkkojärven näytteen siivutus nokihiukkas-analyysiä varten tehtiin 6 cm välein, joten tulokset ovat vain suuntaa-antavia (Hynynen 2005). Harkkojärvennäytteessä oli nokihiukkasia 18-19 cm näytteessä, mutta ei enää 24-25 cm näytteessä, kuva 2. Koska näyteväli oli niin harva, voidaan arvioida, että 1950-luvun kerrostumat sijaitsevat 18-24 cm syvyydessä.

Harkkojärven sedimentin orgaanisen aineksen osuus on sedimenttipatsaan alimmissa näytteissä hieman yli 30 %, kuva 21. 90,5 cm syvyyden jälkeen se nousee ja 12,5 cm ylöspäin laskee. Minerogeenisen aineksen määrä on siten patsaan ala- ja yläpäässä korkea. Vertailusyvyytenä käytetään sedimenttipatsaan 30-40 cm syvyyden näytteitä.



Kuva 21. Harkkojärven sedimentin hehkutushäviöt eri syvyyksillä sekä piilevillä rekonstruoidut veden kokonaisfosfori ja väri. Sedimenttipatsaan pituus 0-40 cm 1 cm:n välein.



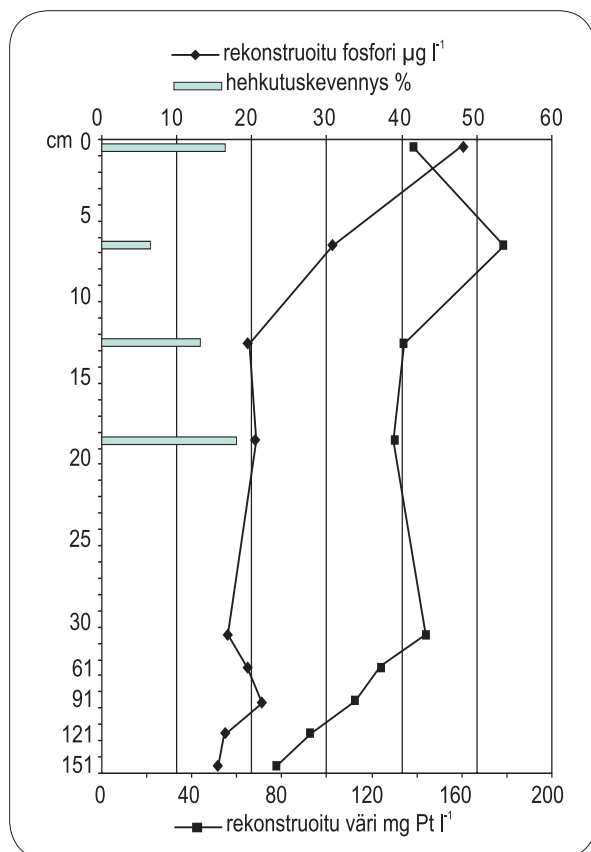
Kuva 22. Harkkojärven pohjasedimenttinäytteen piilevästratigrafia tärkeimpien lajien osalta. Pystyakselilla sedimenttinäytteen pituus ja vaaka-akselilla lajien osuudet, väli 1 %.

Harkkojärven sedimenttinäytteen piilevälajistos-
sa planktisten lajien osuus on vertailusyvyyksissä,
31-37 cm, 40-50 %, liite 2. Selvä minimi on 19 cm sy-
vyyydessä, missä se on 30 %. Pintaa kohden plank-
tisten lajien osuus kasvaa ollen pinnassa maksi-
missaan 60 %. Lajistoa hallitsevat koko patsaan
matkalta hapahkojen, humuspitoisten vesien lajit,
kuva 22. Vanhimmassa näytteessä, joka on 121 cm
syvyyydessä, esiintyy runsaina *Fragilaria brevistriata*
ja *Aulacoseira italica*. 37 cm syvyyydessä runsaina
esiintyvät dystrofisten vesien lajit *E. faba*, *A. italica*,
A. alpigena, *A. lacustris* ja *A. subarctica* sekä *Frustulia*
rhomboides. Nuorimmissa näytteissä esiintyvät run-
saina runsasravinteisissa vesissä elävät *Fragilaria*
crotonensis, *Tabellaria fenestrata*, *A. italica*, *A. ambigua*
ja niukkaravinteisissa olosuhteissa menestyvä *A.*
subarctica.

Sedimentin piileviin perustuvassa fosfori- ja
värirekonstruktiossa fosforiarvot olivat vanhim-
missa näytteissä lähes $40 \mu\text{g l}^{-1}$, mistä taso näytteen
puolivälissä laskee ollen $20\text{--}30 \mu\text{g l}^{-1}$, kuva 21. Viime
aikoina se on taas noussut ollen nyt noin $40 \mu\text{g l}^{-1}$.
Väriarvot ovat vaihdelleet $120\text{--}170 \text{ mg Pt l}^{-1}$ välillä.
Loppukesän pintaveden mitattujen arvojen mu-
kaan kokonaisfosfori vaihtelee $22\text{--}28 \mu\text{g l}^{-1}$ ja väri
 $170\text{--}320 \text{ mg Pt l}^{-1}$ välillä.



Tuopanjärven rantaa.

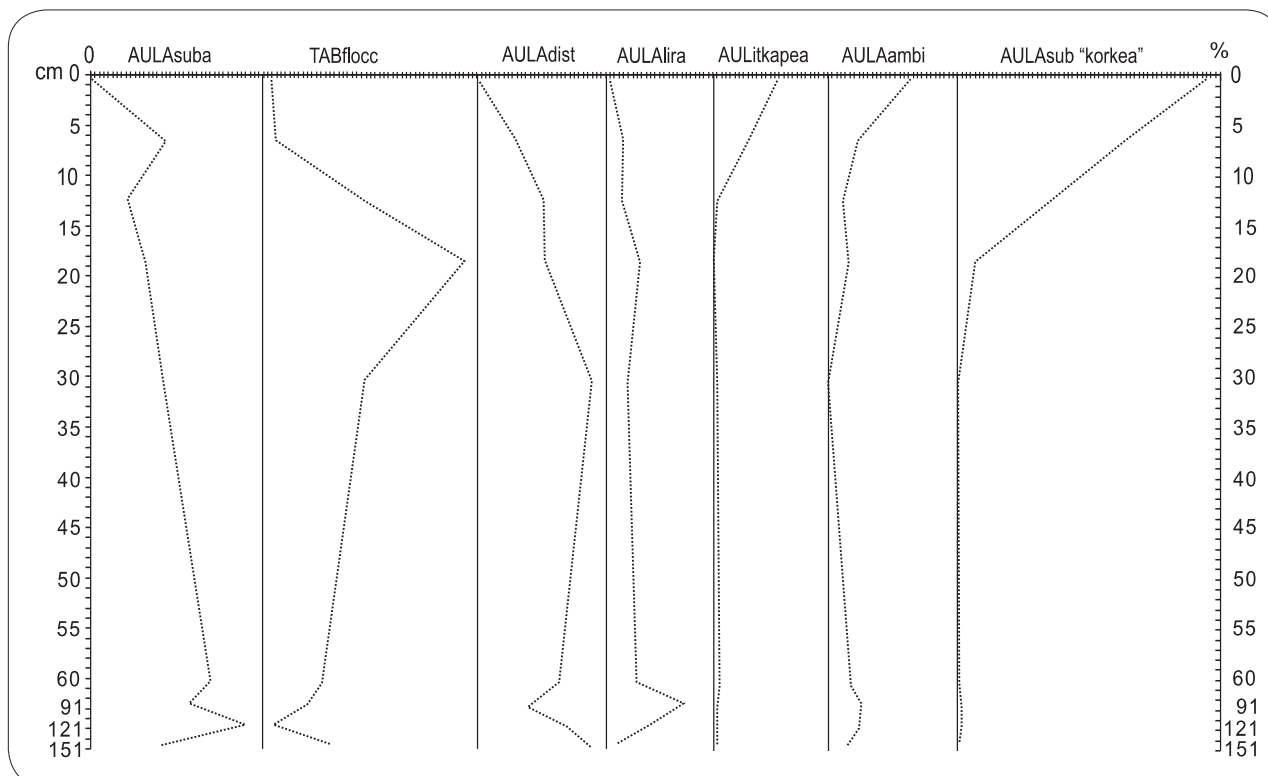


Kuva 23. Koppelojärven sedimentin hehkutushäviöt eri
syvyyksillä sekä piilevillä rekonstruoidut veden kokonais-
fosfori ja väri. Sedimenttipatsaan pituus 60 cm:n asti 1 cm
välein.

Koppelojärven junttakairalla otettu sedimenttipat-
sas oli 169 cm pitkä ja Kajak-näyte 20 cm. Näytteet
siivutettiin 6 cm siivuihin. Hehkutuskevennys teh-
tiin vain lyhyemmälle patsaalle 6 cm välein, kuva
23. Orgaanisen aineksen määrä on matala koko
patsaassa. 7 cm syvyyydessä se laskee selvästi.

Piileväanalyysi tehtiin Kajak-näytteestä hehku-
tuskevennystä vastaavista syvyyksistä ja lisäksi
junttanäytteen syvyyksistä 31 cm, 61 cm, 91 cm,
121 cm ja 151 cm. Koppelojärven sedimenttinäyt-
teen planktisten piilevälajien osuus on syvimmissä
näytteissä 60–80 %, liite 2. Pintaa kohden osuus
nousee selvästi ollen yli 90 % nuorimmissa näyt-
teissä. Piileväanalyysin mukaan vanhimmissa
näytteissä hallitsevat lajit *Aulacoseira distans*, *A.*
subarctica ja *Tabellaria flocculosa*, kuva 24, liite 2.
Nuorissa näytteissä vallitsevat *Aulacoseira ambigua*,
A. subarctica, *A. subarctica* "korkea malli" ja *A. italica*
var *tenuissima*.

Veden fosforipitoisuus on piilevillä rekonst-
ruoitujen arvojen perusteella ollut aikaisemmin
noin $15\text{--}20 \mu\text{g l}^{-1}$, mutta noussut viimeaikoina lä-
helle $50 \mu\text{g l}^{-1}$, kuva 23. Väriarvot ovat rekonst-
ruoinnin mukaan olleet noin $70\text{--}130 \text{ mg Pt l}^{-1}$, mutta
nousseet välillä yli 180 mg Pt l^{-1} . Vesianalyysien
mukaan pintaveden loppukesän kokonaisfosfori-
arvo on ollut $37\text{--}56 \mu\text{g l}^{-1}$ ja väri $160\text{--}280 \text{ mg Pt l}^{-1}$
hankkeen aikaisissa mittauksissa.



Kuva 24. Koppelojärven pohjasedimenttinäytteen piilevästratigrafia tärkeimpien lajien osalta. Pystyakselilla sedimenttinäytteen syvyys ja vaak-akselilla lajien osuudet, väli 1 %. Sedimenttipatsaan pituus 60 cm:n asti 1 cm:n välein.

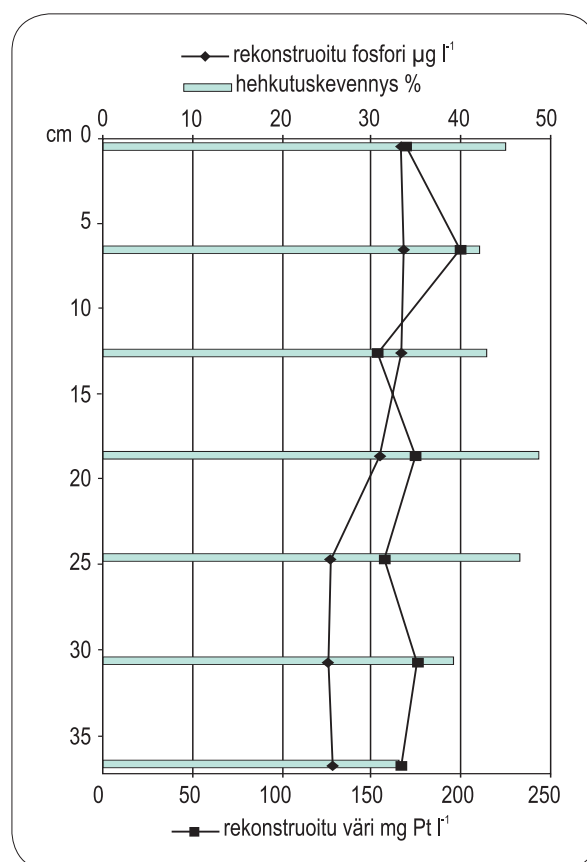
4.4.4

Matalat humusjärvet

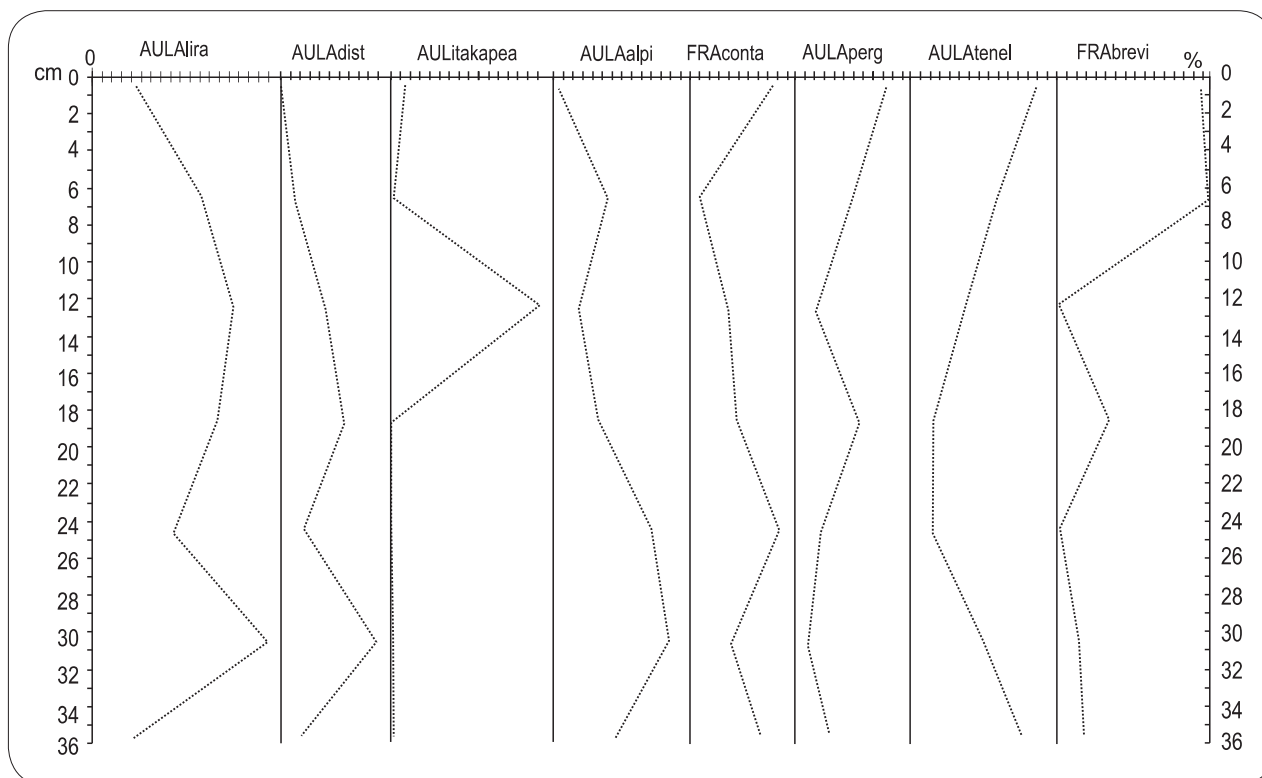
Otmenjärven syvänteestä saatiin 38 cm pituinen sedimenttinäyte. Sen orgaanisen aineksen osuus on vanhimmissa näytteissä 33–46 %. Patsaan keskivaiheilla osuus nousee, minkä jälkeen se laskee eli minerogeenisen aineksen osuus lisääntyy.

Otmenjärven planktisten piilevien osuus vaihtelee selvästi sedimenttipatsaan eri syvyyksissä. Selvät maksimit ovat 30 cm ja 12 cm syvyyksissä noin 70 %, liite 2. Muuten niiden osuus on noin 50 %. Piilevälajistoa hallitsevat vanhimmissa näytteissä humusvesille tyypilliset hapahkojen ja niukkaravinteisten vesien *Aulacoseira*-suvun lajit *A. subarctica*, *A. alpigena*, *A. distans* ja *A. tenella* sekä suvun *Eunotia* lajit, kuva 26, liite 2. Nuorissa näytteissä lisääntyvät reheviä olosuhteita ilmentävät lajit *A. ambigua*, *A. italica* ja sen variaatio *tenuissima*, *Asterionella formosa*, sekä pienet epifyttiset lajit kuten *Fragilaria virescens* ja *F. brevistriata*.

Otmenjärven veden fosforipitoisuus on piileviin perustuvien rekonstruktioarvojen mukaan ollut aikaisemmin noin $25 \mu\text{g l}^{-1}$ ja väri 160 mg Pt l^{-1} , kuva 25. Tämän hetkinen arvo kokonaisfosforille on noin $35 \mu\text{g l}^{-1}$. Väri sen sijaan on pysynyt saman suuruisena. Vesianalyysien mukaan kokonaisfosforipitoisuus on vaihdellut $18\text{--}28 \mu\text{g l}^{-1}$ ja väri $80\text{--}160 \text{ mg Pt l}^{-1}$ välillä.



Kuva 25. Otmenjärven sedimentin hehkutushäviöt eri syvyyksillä sekä piilevillä rekonstruoidut veden kokonaisfosfori ja väri.



Kuva 26. Otmenjärven pohjasedimenttinäytteen piilevästratigrafia tärkeimpien lajien osalta. Pystyakselilla sedimenttinäytteen syvyys ja vaakakselilla lajien osuudet, väli 1 %.

4.4.5

Matalat runsashumuksiset järvet

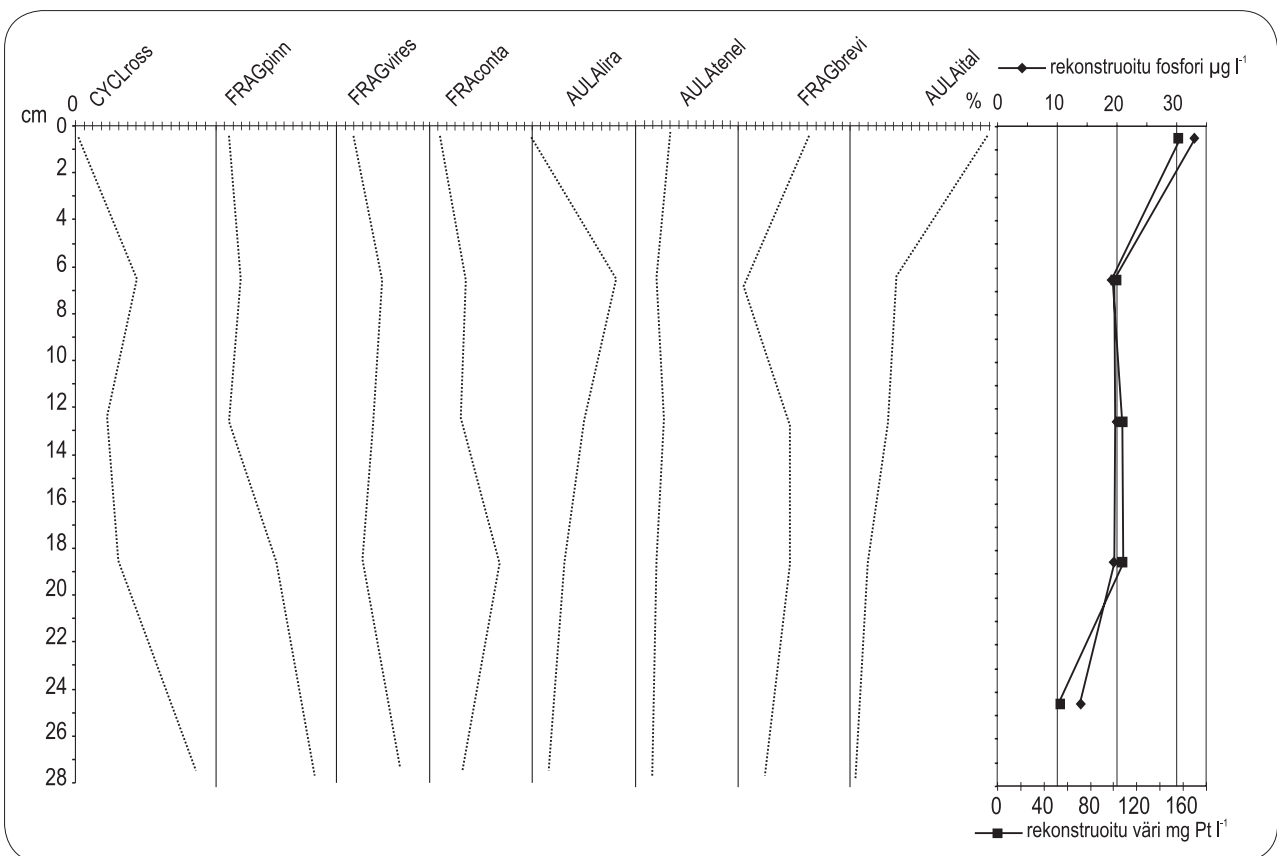
Hattujärvestä saatiin noin 28 cm pituinen sedimenttipatsas. Siitä analysoitiin piilevät 6 cm välein. Orgaanisen aineksen polttoa ei tehty.

Sedimenttipatsaassa laskee planktisten piilevä-lajien osuus vanhimmista näytteistä. 13 cm tasossa se on noin 10 %, liite 2. Siitä ylöspäin planktisten lajien osuus kasvaa saavuttaen maksimin pinnassa, hieman yli 50 %. Syvimmissä eli vanhimmista näytteissä ovat vallitsevia lajeja kirkkaiden vesien *Cyclotella rossii* ja humuksisten vesien *Aulacoseira italica* var *valida*, *A. humilis*, *Fragilaria pinnata*, *Achnanthes levanderi* sekä *F. virescens*, kuva 27, liite 2. Nuorissa näytteissä yleisiä lajeja ovat rehevien ja neutraalien vesien *Fragilaria crotonensis*, *F. brevistriata*, *Aulacoseira italica* ja sen variaatio *tenuissima*, *A. tenella* sekä *Tabellaria fenestrata*.

Hattujärven fosforipitoisuus on piilevillä rekonstruoidun arvon mukaan ollut noin 10–20 µg l⁻¹, mutta noussut siitä ollen nyt lähes 35 µg l⁻¹, kuva 27. Väriarvo on ollut noin 50 mg Pt l⁻¹ ja on nykyään lähes 160 mg Pt l⁻¹. Loppukesän vesianalyysien mukaan kokonaisfosforiarvo on ollut 24–36 µg l⁻¹ ja väri 100–200 mg Pt l⁻¹.

Palojärvestä saatiin sekä 21 cm pituinen Kajak-näyte, että 232 cm pituinen junttakairanäyte. Palojärven sedimentin orgaanisen aineksen osuus on melko matala, noin 20 % vanhimmissa näytteissä, kuva 28. 6,5 cm sedimenttisyvyydestä lähtien se kasvaa merkiten orgaanisen aineksen lisääntymistä tasaisesti. Sedimentin minerogeeninen aines on melkein puhdasta diatomiittia, mitä ilmentää lähes valkoiset hehkutuksen tuhkat.

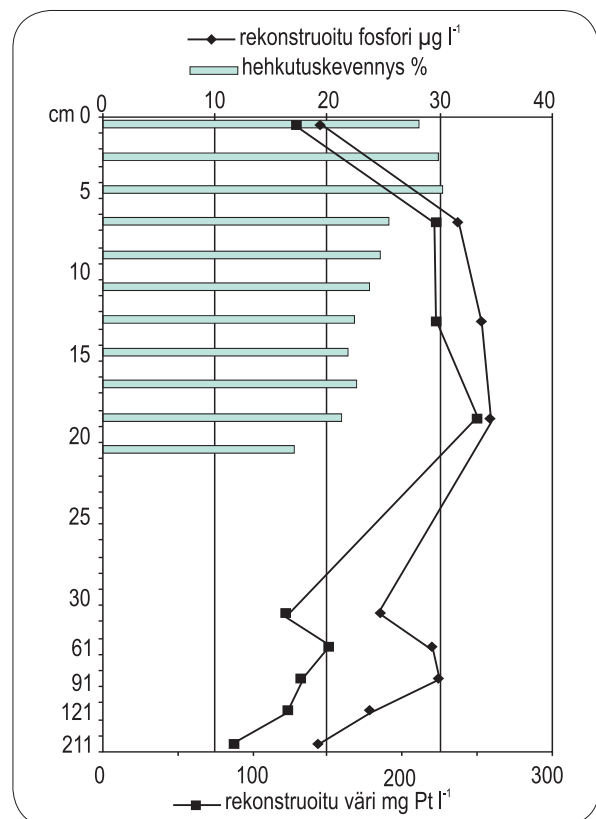
Palojärven nokihiukkasanalyysin tulos ei ole selkeä, sillä syvimmissäkin näytteissä nokihiukkasten määrä vaihteli nollan ja muutaman sadan välillä, kuva 2. Nokihiukkasanalyysiä varten ei järvestä ollut näytteitä 21 cm:ä syvemältä, joten varmistusta siitä, loppuivatko nokihiukkaset 21 cm:n syvyyteen, ei saatu. Sedimentaatioissa on ollut häiriötä eli siinä on saattanut olla ajoittain suurtakin määrällistä vaihtelua. Tästä merkinä ovat lähekkäisten kerrostumien hiukkasmäärien suuri vaihtelu. Syvimpien kerrostumien vähäisten hiukkasmäärien perusteella voidaan arvioida, että 1950-luvulla syntyneet kerrostumat sijainnevat noin 18–20 cm:n syvyydessä. Palojärven sedimentin paksuus on analyysin kattamana aikana kasvanut keskimäärin 3,3–3,6 mm vuodessa, jolloin 1970-luvun alun kerrostumat sijaitsisivat 12–13 cm:n syvyydessä (Hynynen 2006).



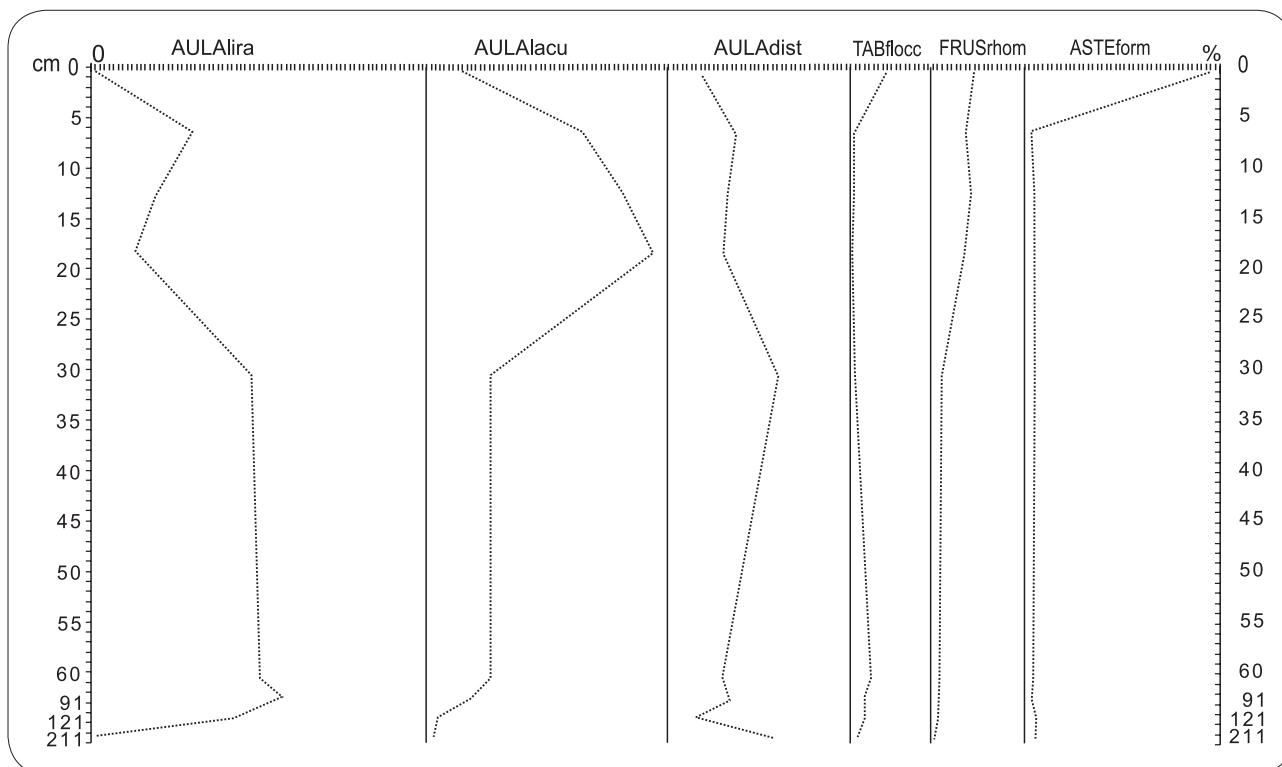
Kuva 27. Hattujärven pohjasedimenttinäytteen piilevästratigrafia tärkeimpien lajien osalta sekä niihin perustuvat veden kokonaisfosforin ja värin rekonstruktioarvot. Pystyakselilla sedimenttinäytteen syvyys ja vaaka-akselilla lajien osuudet, väli 1 %, sekä rekonstruktioarvot.

Palojärven sedimenttipatsaan planktisten piilevälajien osuus on vertailusvyvydessä hieman yli 80 %, mistä se laskee pintaa kohden, liite 2. Sedimentin syvimmissä tasoissa, 211 cm syvyydessä hallitsevat *Fragilaria capucina*, *Aulacoseira italica var. valida*, *A. subarctica* ja erityisesti *A. distans*, kuva 29, liite 2. Sedimenttipatsaan lajistossa on muutos 31 cm syvyydestä lähtien; lajien *Aulacoseira lacustris*, *A. lirata*, ja pienten litoraalisten lajien kuten *Fragilaria brevistriata* ja *F. virescens* osuudet lisääntyvät. Pinnimmaisessa näytteessä dominoivat *Asterionella formosa*, *Frustulia rhomboides*, *Aulacoseira distans*, *Tabellaria flocculosa* ja *A. lacustris*.

Veden kokonaisfosforipitoisuus on piilevillä rekonstruoitujen arvojen perusteella ollut aikoinaan hieman päälle 20 µg l⁻¹, kuva 28. 20 cm näytesyvydestä lähtien pitoisuus nousee yli 30 µg l⁻¹ ja laskee taas pintaa kohden ollen siellä hieman alle 20 µg l⁻¹. Veden väri on tehnyt samantyyppisen muutoksen. Väri on ollut hieman alle 150 mg Pt l⁻¹, noussut siitä noin 230 mg Pt l⁻¹ ja laskenut takaisin lähelle luonnontilaista arvoa. Palojärvestä mitattujen vesianalyysitulosten mukaan loppukesän pintaveden kokonaisfosfori on vaihdellut 35–56 µg l⁻¹ välillä ja väri 210–300 mg Pt l⁻¹.



Kuva 28. Palojärven sedimentin hehikutushäviöt eri syvyyksillä sekä piilevillä rekonstruoidut veden kokonaisfosfori ja väri. Sedimentin syvyys 60 cm asti 1 cm:n välein.



Kuva 29. Palojärven pohjasedimenttinäytteen piilevästratigrafia tärkeimpien lajien osalta. Pystyakselilla sedimenttinäytteen pituus ja vaaka-akselilla lajien osuudet, väli 1 %. Sedimenttipatsaan pituus 1 cm:n välein 60 cm:n asti.

Oskajärvestä saatiin vain 12 cm pituinen Kajak-näyte. Se oli koostumukseltaan 0–2 cm pinnasta mutaa/rautaoksidia ja loput 2–12 cm hiekkaa. Oskajärven tulokset ovat näytteen takia vain suuntaa-antavia. Järven piilevälajistoa hallitse 12 cm näytteessä *Aulacoseira italica*, *A. lirata* sekä *A. distans*, kuva 30, liite 2. Pintanäytteessä *A. lirata*-lajin osuus pienenee ja lajien *Tabellaria flocculosa* sekä *A. ambigua* kasvaa. Planktisten lajien osuus on 12 cm:ssä noin 80 % ja nykyään hieman yli 50 %, liite 2.

Oskajärven veden fosforipitoisuus on piilevillä rekonstruoitujen arvojen mukaan ollut noin 30 $\mu\text{g l}^{-1}$ ja laskenut 23 $\mu\text{g l}^{-1}$. Väri olisi ollut 177 mg Pt l^{-1} ja olisi nykyään 117 mg Pt l^{-1} . Vesianalyysien mukaan järven pintaveden loppukesän kokonaisfosfori on vaihdellut välillä 20–30 $\mu\text{g l}^{-1}$ ja väri 120–220 mg Pt l^{-1} .

4.4.6

Lyhytviipymäiset järvet

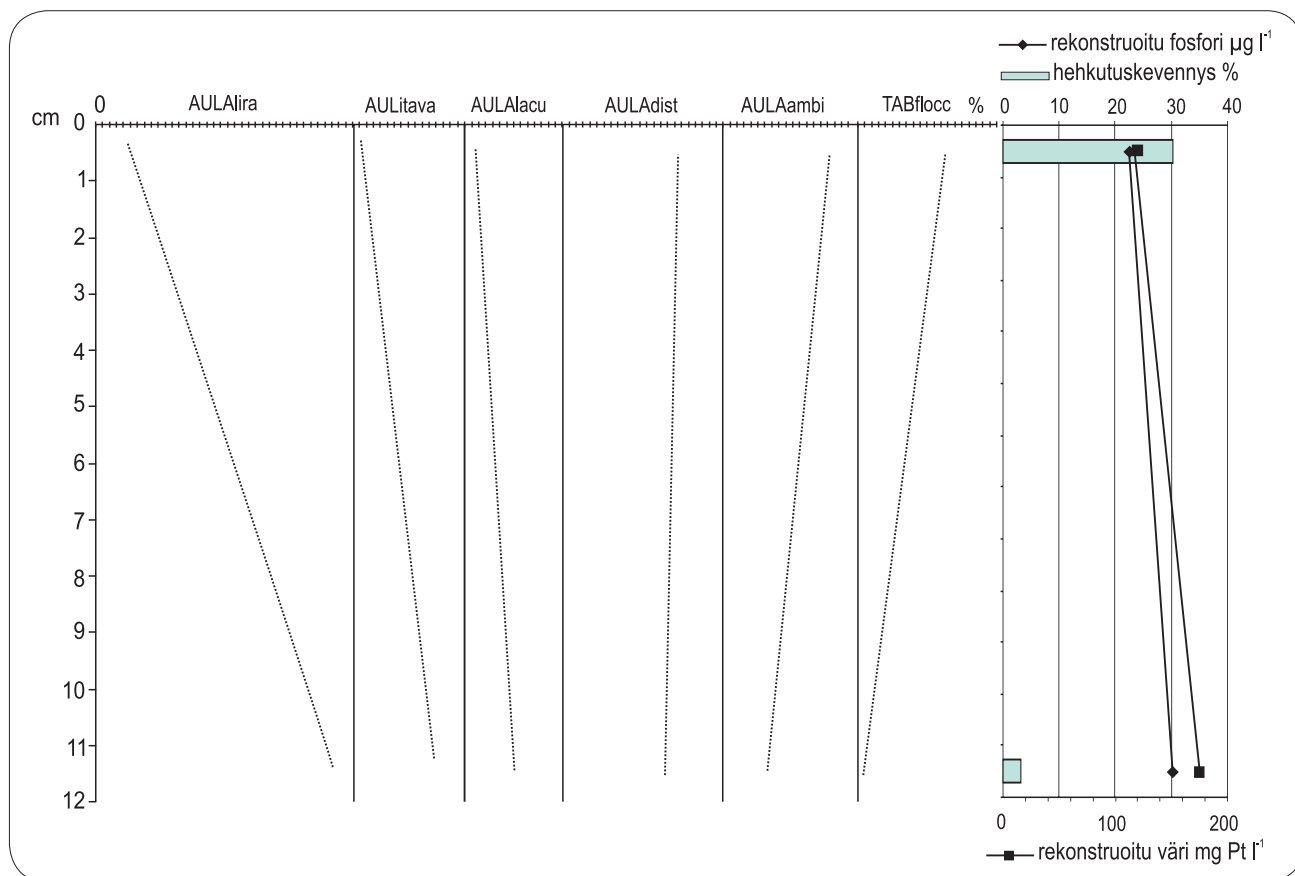
Naarvanjärvestä saatiin 40 cm pituinen sedimenttipatsas, josta määritettiin piilevät 6 cm välein. Lajistosta oli planktisten lajien osuus vanhimmissa näytteissä hieman yli 30 %, mistä se nousi ollen pinnassa noin 50 %, kuva 31. Yleisiä lajeja van-

himmissa näytteissä olivat *Achnanthes levanderi*, *Fragilaria virescens*, *Aulacoseira tenella* ja *Frustulia rhomboides*, kuva 31, liite 2. Pintaa kohden kasvoi lajien *Fragilaria constricta*, *F. pinnata*, *Asterionella formosa*, *Aulacoseira perglabra*, *A. subarctica*-lajin kapea muoto, *A. tenella* ja *A. lirata* osuus.

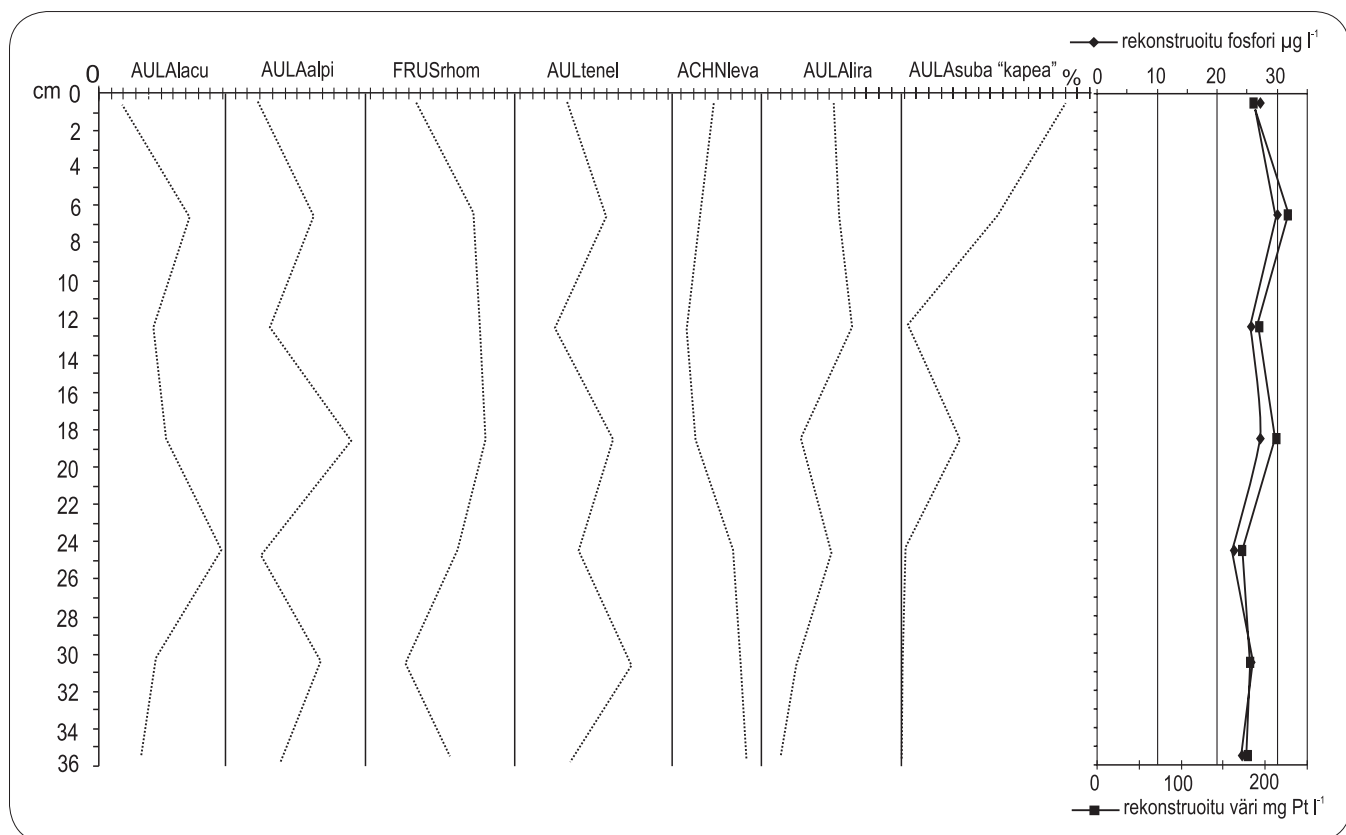
Naarvanjärven fosforipitoisuus on piileviin perustuvan rekonstruktion mukaan vaihdellut noin 24–30 $\mu\text{g l}^{-1}$, kuva 31. Väriarvot ovat vaihdelleet 170–230 mg Pt l^{-1} . Molempien tasot ovat olleet aikaisemmin nykyistä tasoa hieman matalammat ja kohoavat nuoria näytteitä kohden. Loppukesän pintavesianalyysien mukaan fosforipitoisuus on vaihdellut 19–27 $\mu\text{g l}^{-1}$ ja väri 180–360 mg Pt l^{-1} välillä.

Petkeljärvestä otettiin junttakairalla sedimenttinäyte, jonka pituus oli noin 70 cm ja 30 cm pituinen Kajak-näyte. Orgaanisen aineksen määrä on sedimentissä pysynyt suhteellisen tasaisena, hieman yli 30 %, kuva 32. Sedimenttipatsaan 4,5 cm syvyydessä on pieni lasku.

Petkeljärven ajoitustulos oli suhteellisen selkeä ja selväpiirteinen (Hynynen 2005). Nokihiekkaa esiintyi syvimmillään 17–18 cm:n syvyydessä, josta ylöspäin hiukkasten määrä kasvoi tasaisesti,



Kuva 30. Oskajärven pohjasedimenttinäytteen hehkutuskevennys, piilevästratigrafia tärkeimpien lajien osalta sekä niiden perusteella rekonstruoidut veden kokonaisfosforipitoisuus ja väri. Pystyakselilla sedimenttipatsaan pituus.

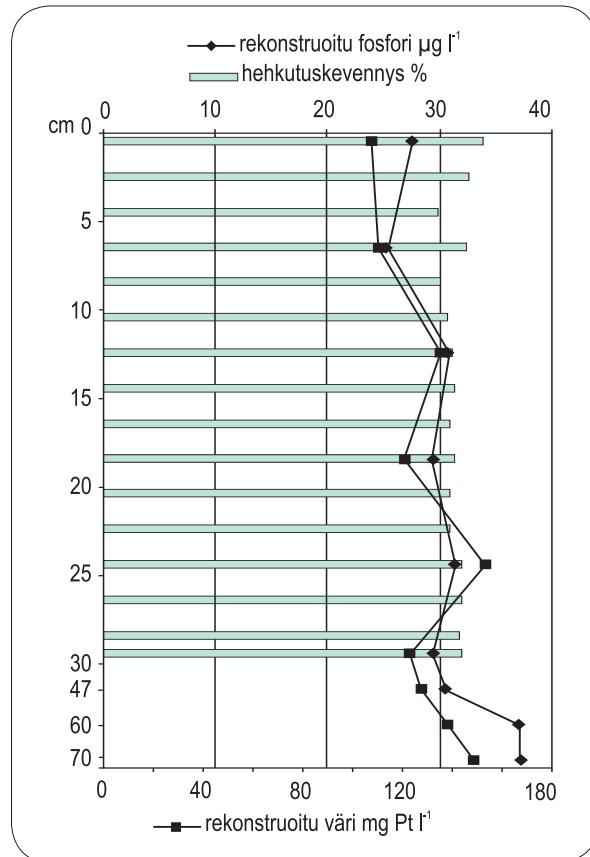


Kuva 31. Naarvanjärven pohjasedimenttinäytteen piilevästratigrafia tärkeimpien lajien osalta sekä niihin perustuvat veden kokonaisfosforin ja värin rekonstruktioarvot. Pystyakselilla sedimenttipatsaan pituus ja vaaka-akselilla lajien osuudet, väli 1 %, sekä rekonstruoidut arvot.

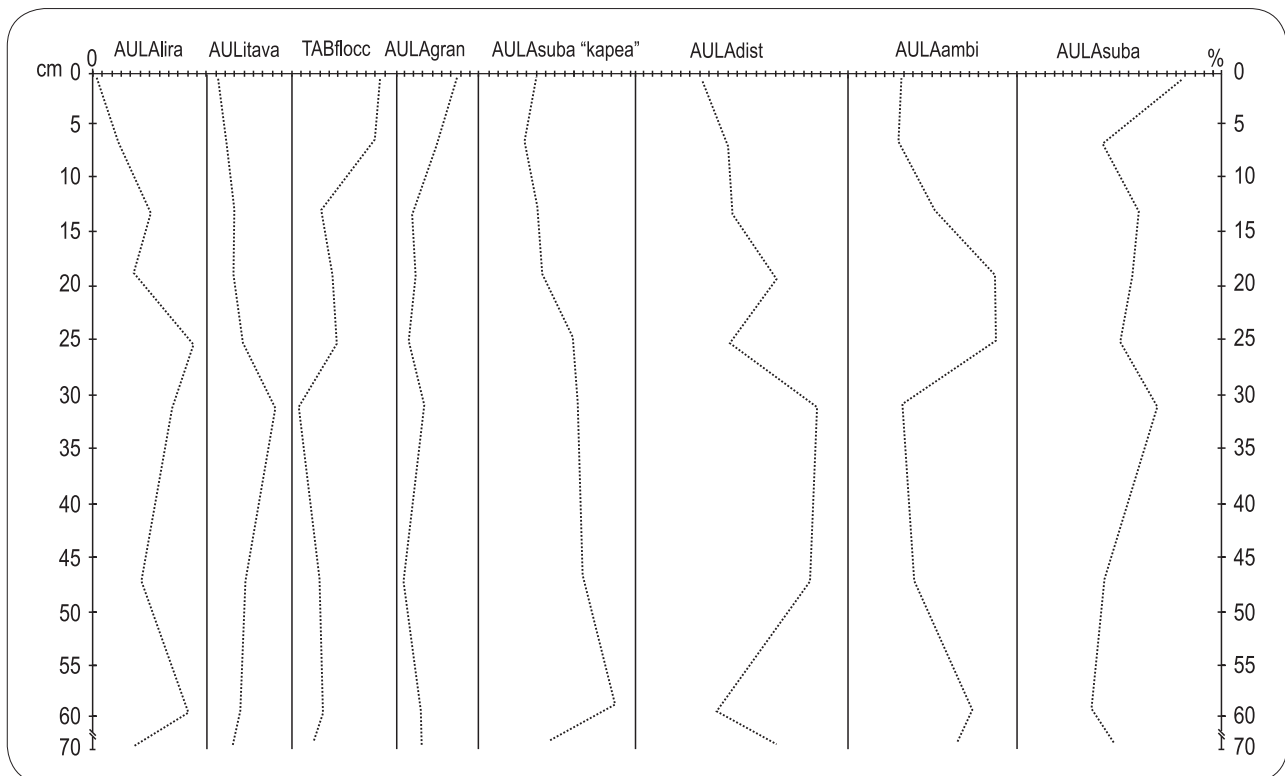
kuva 2. Niiden perusteella voidaan päätellä, että 1950-luvulla syntyneet kerrostumat sijaitsevat 18 cm:n syvyydestä ylöspäin. Vuotuisiksi sedimentaatio-lisäksi tulee silloin keskimäärin 3,3 mm. 1970-luvun kerrostumat sijaitsivat näin ollen noin 11–8 cm:n syvyydessä.

Petkeljärven sedimenttinäytteen planktisten piilevälaajien osuudet laskevat vanhemmista näytteistä nuorempia näytteitä kohden, liite 2. Vertailusyvydessä noin 30 cm planktonlajien osuus on maksimissaan, hieman yli 80 %, mistä se laskee olleen pinnassa noin 60 %. Syvimmissä näytteissä vallitsevia ovat *Eunotia*-suvun lajit, *Aulacoseira distans*, *A. subarctica* sekä sen "kapea" variaatio, kuva 33, liite 2. Lajien osuudet vaihtelevat hyvin paljon eri syvyystasoissa eikä suuria muutoksia pinnan ja pohjan välillä ole havaittavissa. Tämänhetkistä tilannetta kuvaavissa pinnimmaisissa näytteissä yleisiä ovat *Aulacoseira granulata*, *A. subarctica* ja *Tabellaria flocculosa*.

Petkeljärven veden fosforipitoisuus on piileviin perustuvan rekonstruktion mukaan vaihdellut $30 \mu\text{g l}^{-1}$ molemmiin puoliin eikä selvää muutosta pitoisuudessa ole tapahtunut, kuva 32. Väri on aikaisemmin ollut noin 150 mg Pt l^{-1} ja laskenut siitä ollen nyt noin 100 mg Pt l^{-1} . Pintaveden loppukesän vesianalyysien mukaan Petkeljärven kokonaisfosforipitoisuus on ollut $15\text{--}22 \mu\text{g l}^{-1}$ ja väri $80\text{--}160 \text{ mg Pt l}^{-1}$ (arvo 80 on vuodelta 1985).



Kuva 32. Petkeljärven sedimentin hehkutushäviöt eri syvyyksillä sekä piilevillä rekonstruoidut veden kokonaisfosfori ja väri. Pystyakselilla sedimenttipitsaan pituus 1 cm:n välein 60 cm:n asti.



Kuva 33. Petkeljärven pohjasedimenttinäytteen piilevästratigrafia tärkeimpien lajien osalta. Pystyakselilla sedimenttipitsaan syvyys ja vaak-akselilla lajien osuudet, väli 1 %. Sedimenttipitsaan pituus 1 cm:n välein 60 cm:n asti.

5 Tulosten tarkastelu

Metsätalouden toimenpiteiden vaikutusta alapuoliseen vesistöön on selvitetty paleolimnologisissa tutkimuksissa pienillä järvillä ja lammilla mm. Simola (1983), Simola ym. (1995), Sandman ym. (1990, 1992, 1995) ja suurilla järvillä Sandman ym. (1994). Avohakkuun ja maanmuokkauksen vaikutus on tulosten mukaan keskimäärin vähäisempää kuin ojitusten (Sandman ym. 1992, 1995, Räsänen ym. 2007). Metsätaloustoimenpiteiden vaikutus metsäpurojen piileviin on ollut lievää (Rönkkö ym. 1986), mutta alapuolisissa järvissä vaikutukset ovat olleet selviä (Sandman ym. 1995). Alapuolisen vesistön muutoksiin vaikuttaa osaltaan myös maanmuokkauksen voimakkuus ja sijoittuminen valuma-alueelle.

Metsätaloustoimenpiteet vaikuttavat metsän vesitalouteen ja aiheuttavat kuormitusta alapuolisiin vesistöihin useiden vuosien ajan (mm. Ahtiainen 1992, Ahtiainen ja Huttunen 1995, 1999). Metsätalouden eri toimenpiteistä kuten ojituksesta ja maanmuokkauksesta aiheutuva kuormitus on yleensä orgaanista ainesta, johon myös suuri osa ravinteista on sitoutuneena. Orgaanisessa muodossa olevat ravinteet eivät kuitenkaan ole suoraan kasviplanktonin käytettävissä, vaan ne sedimentoituvat järven pohjalle alusveden hyvässä happitilanteessa. Kun orgaanista ainesta tulee runsaasti järven pohjakerrokseen, se liettää pohjaa ja kiihdyttää hajotustoimintaa, joka käyttää hapetta. Hapen vähentyessä pohjasta vapautuu ravinteita, jotka rehevöittävät vesistöä. Alusveden hapettomuus on osalle humusjärvä luontaista. Osaltaan pohjan malli saattaa edesauttaa hapettomuutta: järvet, joissa on pienialaisia syvänteitä kärsivät muita helpommin hapen vähyydestä.

Hankkeessa on metsätalouden toimenpiteistä tutkimusteknisistä syistä johtuen huomioitu vain ojitukset. Kuitenkin on muistettava, että valuma-alueilla on tehty myös muita metsätaloudellisia toimenpiteitä, joiden kuormitus on samantyyppistä kuin ojituksista aiheutuva. Lannoitus- ja hakkuutietojen kuin myös ojituksia edeltäneiden lannoitustietojen puuttuessa voidaan vain arvailla niiden osuutta tutkimustuloksissa. Tulee kuitenkin huomata, että vesistöjen ekologisen tilan muuttumiseen vaikuttavat myös muut metsätalouden toimenpiteet, kuin ojitus, mutta niiden osuuden selvittäminen vaatisi tarkempaa tietoa toimenpiteiden laadusta, ajoittumisesta ja sijoittumisesta valuma-alueelle.

5.1

Sedimentin rakenne

Ojituksissa ja maanmuokkauksessa maanpinta rikkoutuu ja maa-ainekset joutuvat alttiiksi saateille ja eroosiolle. Maanpinnan rikkoutuminen näkyy usein alapuolisen järven sedimentissä minerogeenisen aineksen osuuden kasvuna, kun maankäsittely ulottuu kivennäismaahan asti. Sandmanin (1992, 1995) selvityksissä mm. Juupajoen Kalliojärven, Valkealan Rajalammen ja Lopen Saarijärven sedimentissä minerogeenisen aineksen osuus lisääntyy pintaa kohden muutoksen alun ajoittuessa 1960-70-luvuille eli samoihin aikoihin, kun valuma-alueilla ojitettiin ja maanpintaa käsiteltiin aina kivennäismaahan asti.

Ojituksia on tehty jo 1900-luvun alkupuolella, mutta tuolloin ojitus kuitenkin oli käsityötä, jolloin keskityttiin enemmän orgaanisen aineksen siirtelyyn ja vältettiin kaivuun ulottumista kivennäismaahan (Sandman ym. 1995). Myös muu toiminta, kuten (metsä)tieverkoston rakentaminen aiheuttaa lisääntynyttä minerogeenisen aineksen määrää sedimenteissä. Se näkyi mm. Harkkojärven sedimentissä vaaleina savikerroksina (Kukkonen 1994).

Hankejärvien hehkuskevennystuloksissa on eroja järvien eri kerrosten välillä. Osassa järviä (Otmenjärvi, Kajojärvi, Halijärvi, Rauanjärvi) minerogeenisen aineksen lisääntymien alkaa sedimenttipatsaassa noin 18-12 cm syvyydessä. Muutos edustaa ajoitettujen patsaiden mukaan 1950-1970 lukuja, minkä aikana on ojitettu suurin osa hankejärvien valuma-alueista. Minerogeenisen aineksen nousu ilmentää ojitusten ulottuneen kivennäismaahan asti. Orgaanisen aineksen määrä nousee usein järven tuotannon noustua, kuten Keskijärvessä on tapahtunut.

5.2

Lajimuutokset ja indikaattorilajit

Metsätalouden toimenpiteiden on todettu aiheuttavan alapuolisissa vesistöissä vedenlaadun muutoksia, jotka näkyvät piileväla- ja -lajistomuutoksina. Sandmanin ym. (1995) selvitysten mukaan lajistomuutoksissa on selviä indikaattorilajeja, kuten *Aulacoseira tenella*, jonka osuus kasvoi usein ojitusten jälkeen. Simolan ym. (1995) yhteenvedossa valuma-alueen metsätaloustoimien, erityisesti ojitusten, aiheuttamien vedenlaadun muutosten seurauksena tapahtunut lajistomuutos on usein ollut hapahkojen niukkaravinteisten vesien lajeissa,

kuten *Frustulia rhomboides*, *Aulacoseira distans*, *Eunotia* spp., kohti lajeja *Aulacoseira tenella*, *Cyclotella rossii*, *Asterionella formosa*, *Aulacoseira ambigua* ja *Tabellaria fenestrata*. Rehevöitymisen edetessä ovat lisääntyneet mm. *Fragilaria crotonensis* ja *Eunotia zasuminensis*. Pienistä literaalilajeista ovat lisääntyneet *Navicula soehrensii*, *Achnanthes subatomoides* ja *Meridion circulare*. Osalla järvistä (Suuri-Rostuvi, Rönkkö ja Simola 1986) olemassa olevien lajien väliset suhteet ovat muuttuneet, mutta uusia lajeja ei ole ilmaantunut. Avohakkuun vaikutukset alapuolisien järvien piilevälajeihin jäivät Räsäsen ym. (2007) paleolimnologisessa tutkimuksessa väheisiksi.

Vertailtaessa vaaleiden (väri <90 mg Pt l⁻¹) ja tummien (väri >90 mg Pt l⁻¹) hankejärvien laji- ja lajistokehityksiä on niissä eroja. Kirkkaiden ja pH-tasoltaan emäksisten vesien *Cyclotella*-suvun lajit olivat selvästi yleisempiä vaaleissa vesissä, kuva 34, taulukko 5. *Aulacoseira*-suvun lajeja oli molemmissa järvissä, mutta tummissa järvissä olivat yleisimpiä hapahkojen ja humuspitoisten järvien *A. lirata*, *A. lacustris* ja *A. distans* kun taas vaaleissa yleinen oli *A. subarctica*. *Cyclotella*-suvun lajien alkaliniteettioptimit ovat Huttusen ja Turkian (1994) vertailuaineistossa melko korkeat (0,103–0,232 mmol l⁻¹, *Cyclotella rossii* 0,092 mmol l⁻¹) verrattuna edellä mainittuihin *Aulacoseira*-suvun lajeihin (alkaliniteettioptimi noin 0,029 mmol l⁻¹), kuva 34.

Hankejärvissä ylivoimaisesti yleisimpänä esiintynyt niukkaravinteisten järvien *A. subarctica* oli runsaampi vaaleissa kuin tummissa vesissä. Toinen niukkaravinteisissä vesissä yleisesti esiintyvä laji, *A. alpigena* oli molemmissa järvtyypeissä keskimäärin yhtä yleinen ja sen osuudet laskivat sedimenttipatsaan pintaa kohden. Miettisen (2003) aineistossa lajin *A. alpigena* fosforioptimi on 13,4 µg l⁻¹ ja lajin *A. subarctica* hieman korkeampi, 17,1 µg l⁻¹. Lajin *A. alpigena* TOC-optimi on Huttusen ja Turkian (1994) aineistossa 12,9 mg l⁻¹ ja alkaliniteettioptimi 0,026 mmol l⁻¹, *A. subarctica*-lajin optimia ei aineistossa ole vaan sen muodon *A. subarctica* fo. *subborealis*, jonka TOC-optimi on 7,65 mg l⁻¹ ja alkaliniteettioptimi 0,089 mmol l⁻¹.

Litoraalivyöhykkeen *Frustulia rhomboides*-laji on tyypillinen niukkaravinteisille ja hapahkoille humusvesille, kuva 34. Sen osuus on keskimäärin suurempi tummissa vesissä, mutta molemmissa tyypeissä lajin osuus laskee nuorissa näytteissä, taulukko 5. Lajilla on hennompikuviainen muoto *F. rhomboides* v. *saxonica*, jota esiintyy happamissa vesissä ja osassa hankejärviä. *Frustulia rhomboides* lajin alkaliniteettioptimi on -0,23 mmol l⁻¹ ja TOC optimi 4,73 mg l⁻¹ (Huttunen ja Turkia 1994) ja fosforioptimi 18,7 µg l⁻¹ (Miettinen 2003).

Rehevyyttä ilmentävän *A. ambigua*-lajin osuudet olivat tummissa järvissä suuria ja lisäksi sitä esiintyi yleisesti jokaisella syvyystasolla. Vaaleissa järvissä sen osuudet kasvavat vasta nuorissa näytteissä. *A. italica*-lajin osuus on keskimäärin suurempi tummissa kuin vaaleissa, mutta molemmissa tyypeissä sen osuus kasvaa pintaa kohden. Edelliset lajit suosivat ravinteikkaita ja melko alkalifilisia vesiä; lajin *A. ambigua* fosforioptimi on 23,4 µg l⁻¹ ja lajin *A. italica* 38,3 µg l⁻¹ (Miettinen 2003). Lajien alkaliniteettioptimit ovat 0,252 mmol l⁻¹ *A. italica* ja 0,233 mmol l⁻¹ *A. ambigua*, kuva 34. Lajien TOC-optimi on 7,4 mg l⁻¹ (Huttunen ja Turkia 1994).

Kapeiden ja pitkien *Aulacoseira*-suvun lajien osuudet ovat keskimäärin suuremmat tummissa hankejärvissä kuin vaaleissa, kuva 34. Niiden fosforioptimit ovat Miettisen (2003) aineistossa suhteellisen korkeat, *subarctica*-muodon 23,8 µg l⁻¹ ja *italica* v. *tenuissima* muodon 29,4 µg l⁻¹. Ne ilmentävätkin ravinnetason nousua. Ravinnetason nousun myötä järven piilevälajisto muuttuu morfologisilta ominaisuuksiltaan. Runsasravinteisissä vesissä lajit ovat usein hentorakenteisia ja pienikokoisia, jolloin ulkopinnan suhde kokonaistilavuuteen on suuri (Smol ym. 1984). Pitkien kapeiden *Aulacoseira*-lajien malli on tällainen; solut ovat kapeita ja pitkiä jolloin ne optimoivat valon ja ravinteiden oton suhteessa solun tilavuuteen. Tummissa vesissä, joissa yhteyttävä kerros on matala, on hyötyä tällaisesta rakenteesta. Lisäksi kolonioita muodostaessaan ne pysyvät entistä paremmin lähellä pintaa. Kapeiden *Aulacoseira*-lajien osuudet nousevat tummissa järvissä kohti nuoria näytteitä (kuten Koppelojärvi) ilmentäen näin pidemmälle edennyt rehevöitymistä. Kapeita pitkiä *Aulacoseira*-lajeja on myös vaaleissa rehevissä järvissä kuten Keskijärvessä ja Tuopanjärvessä.

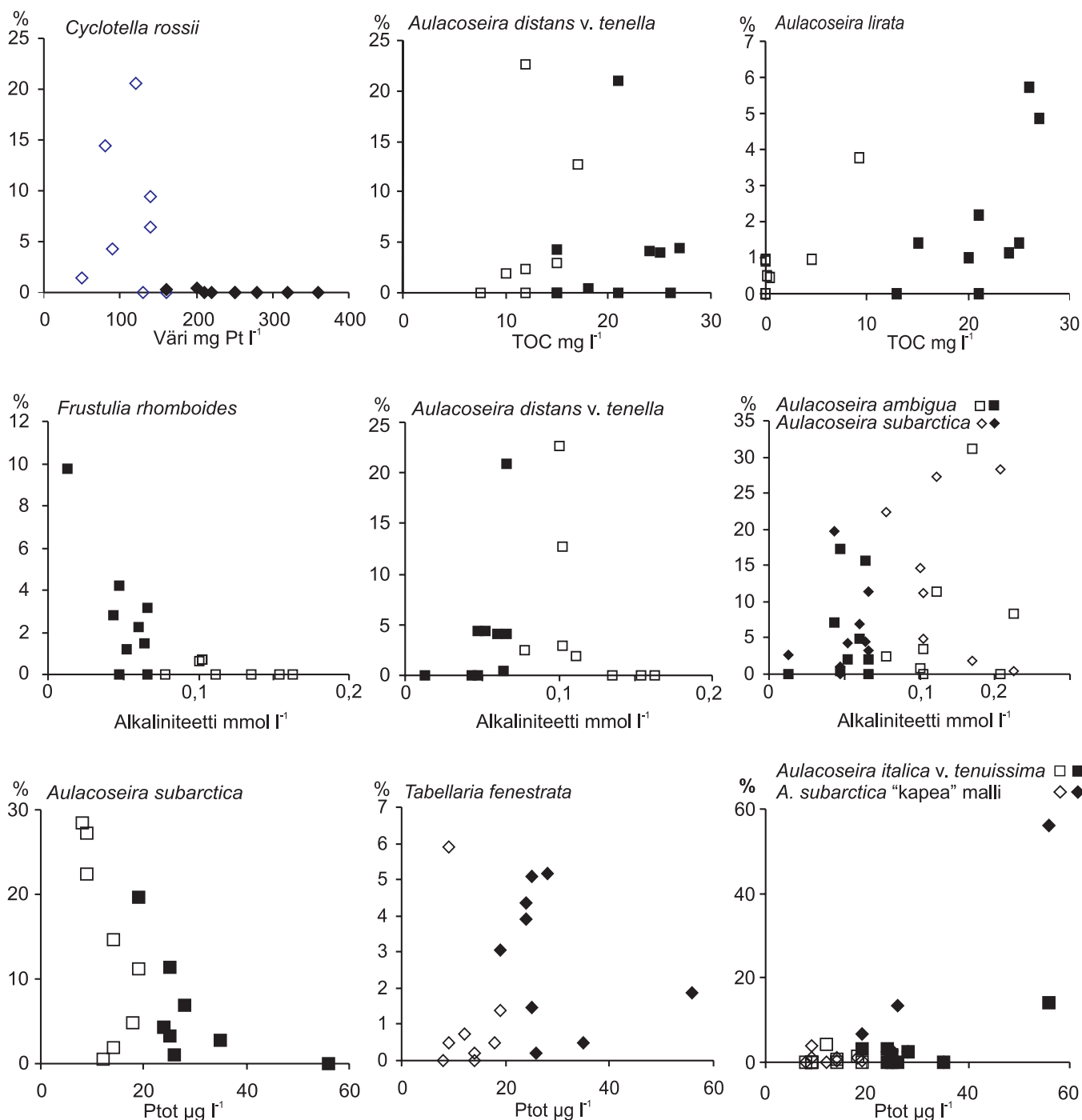
Aulacoseira distans var *tenella*-lajia on keskimäärin hieman enemmän vaaleissa kuin tummissa vesissä. Lajia esiintyy yleensä humusvesissä ja sen TOC-optimi on melko korkea 9,9 mg l⁻¹ sekä alkaliniteettioptimi matalahko, 0,053 mmol l⁻¹ (Huttunen ja Turkia 1994). Huttusen ja Meriläisen (1983) sekä Elorannan (1986) mukaan laji suosii dystrofisia ja dys-eutrofisia vesiä. Lajin lisääntyminen on yhdistetty useissa tutkimuksissa valuma-alueella tapahtuneisiin hakkuiden tai ojitusten aiheuttamiin humusaineiden lisääntymisiin vesistössä (Sandman ym. 1995). Hankejärvissä lajin esiintyminen on hyvinkin yhteydessä valuma-alueella tehtyihin metsätaloustoimenpiteisiin.

Laji *Cyclotella stelligera* on yleisempi vaaleissa kuin tummissa järvissä ja sen osuus kasvaa nuoria näytteitä kohden. Lajin fosforioptimi on Miettisen (2003) aineistossa korkeahko, 20,7 µg l⁻¹. Lisäksi laji esiintyy yleisesti humuspitoisissa vesissä, joiden

pH on korkeahko. TOC-optimi sillä on 10,14 mg l⁻¹ ja alkaliniteetti-optimi 0,191 mmol l⁻¹ (Huttunen ja Turkia 1994). Lajia esiintyy sekä planktonissa että litoraalisissa (mm. Sandman ym 1992). Joissakin humusjärvissä lajin osuus on kasvanut ravinnetason

nousun yhteydessä (Kukkonen 1994, Niinioja ym. 2001, Huttunen ja Meriläinen 1983).

Eutrofisuutta ilmentävien lajien, *Asterionella formosa*, *Meridion circulare*, *Eunotia zasuminensis* ja *Fragilaria crotonensis*, osuudet ovat sekä tummissa



Kuva 34. Hankejärvien pintanäytteiden piilevälajiston suhteellisia osuuksia suhteessa eri ympäristötekijöihin. Vedenlaatu-tiedot ovat syksyiltä 2004. Vaaleat järvet on merkitty avoimella kuviolla ja tummat järvet tummilla kuvioilla. Ympäristö-tekijät: väri (mg Pt l⁻¹), TOC = orgaaninen hiili (mg l⁻¹), alkaliniteetti (mmol l⁻¹), Ptot = kokonaisfosfori (µg l⁻¹). Huttusen ja Meriläisen (1983) sekä Meriläisen ym. (1982) maankäyttöön, vedenlaatuun ja piilevälajistoon liittyvissä selvityksessä lajien ilmentämät vedenlaadut ovat samantyyppisiä.

että vaaleissa järvissä keskimäärin samansuuruisia. Kaikkien lajien osuudet kasvavat nuoria näytteitä kohden. Lajeista *Asterionella formosa* on jonkin verran yleisempi vaaleiden järvien vanhoissa näytteissä kuin tummien järvien vastaavissa syvyyksissä. *A. formosa*-lajin alkaliniteetti-optimi on melko korkea, 0,144 mmol l⁻¹, samoin kuin TOC-optimi, 9,69 mg l⁻¹, (Huttunen ja Turkia 1994) eli lajia esiintyy dys-eutrofisissa vesissä, joiden pH on hieman korkeampi. Laji yhdistetään reheviin järviin ja ravinnanousuun mm. metsänkäsittelyn yhteydessä (mm. Huttunen ja Meriläinen 1983, Sandman ym. 1992, 1994, 1995).

Meridion circulare – lajista ei ole optimipitoisuustietoja, mutta se kuten *Asterionella formosa* voivat suotuisissa olosuhteissa lisääntyä nopeastikin. Evon Nimetön-lammessa *M. circulare* lisääntyi nopeasti avohakkuiden, kulotuksen ja lannoitusten seurauksena (Sandman ym. 1995). *Eunotia zasuminensis* – laji on harvemmin esiintyvä tai vaikeammin erotettava laji, joka sotketaan välillä *Asterionella*-sukuun (Eloranta 1986). Laji esiintyy erityisesti ravinteikkaissa humusvesissä. *Fragilaria crotonensis* lisääntyy erityisesti runsasravinteisissa alkalisisissa vesissä. Sen fosforioptimi Miettisen (2003) aineistossa on 23,2 µg l⁻¹.

Pienien litoraalilajien, *Fragilaria brevistriata*, *F. pinnata*, *F. virescens* ja *F. constricta*, keskimääräiset osuudet näytteissä jäävät muutamaa prosenttiyksikköön eri syvyyksissä. Kaikki lajit esiintyvät yleisesti humuksikkaissa vesissä, mutta *F. constricta* ja *F. virescens* suosivat happamampia vesiä kuin *F. brevistriata* ja *F. pinnata*. Kahden ensin mainitun optimipitoisuus alkaliniteetille on -0,003 ja 0,058 mmol l⁻¹ kun se kahdelle jälkimmäiselle on 0,181 ja 0,221 mmol l⁻¹ (Huttunen ja Turkia 1994). *Fragilaria brevistriata* – lajin osuus nousee keskimäärin vaaleissa vesissä, kun taas tummissa sen osuus on muutaman prosentin verran kaikilla sedimentin syvyystasoilla. *F. pinnata* ja *F. constricta* – lajien osuudet ovat tummissa vesissä korkeammat, kun vaaleissa järvissä.

Tabellaria-suvun lajeja *fenestrata* ja *flocculosa* esiintyy sekä tummissa että vaaleissa järvissä. *T. fenestrata* on hieman runsaampi tummissa kuin vaaleissa ja sen osuus nousee nuorissa näytteissä. Sen TOC-optimi 9,5 mg l⁻¹ (Huttunen ja Turkia 1994) ja fosforioptimi, 26,4 µg l⁻¹ (Miettinen 2003), ovat korkeampia kuin lajin *T. flocculosa*, 7,80 mg l⁻¹ ja 17,5 µg l⁻¹. Sen sijaan alkaliniteetti-optimi, 0,079 mmol l⁻¹ on matalampi kuin lajin *T. flocculosa* 0,77 mmol l⁻¹. *T. fenestrata*-lajin esiintyminen näyttäisikin ilmentävän kohonnutta ravinnetasoa tummissa järvissä, kuva 34.

Hankejärvien piilevälajistojen perusteella voidaan vertailutilan, hieman hapahkojen humusvesien, lajeina pitää lajeja *A. subarctica*, *A. distans* ja

A. lirata sekä lajia *Frustulia rhomboides*. Niiden lajien väheneminen ilmentää hankejärvissä muutosta luonnontilaisesta ihmisvaikutteiseen järveen, tässä tapauksessa metsätaloudesta johtuvaan vedenlaadun muutokseen. *Cyclotella*-suvun lajit kuten *C. rossii* ilmentävät kirkkaita ja emäksikkäitä vesiä. Niiden esiintyminen ilmentää veden kirkastumista, mikä saattaa johtua ihmistoiminnasta, kun kuivatusten jälkeen turvamailla tuleva humuspitoinen valumavesi vähenee. Ravinnetason nousua ilmentäviä lajeja ovat *A. ambigua*, *A. italica*, kapeat ja pitkät *Aulacoseira*-lajit, *Asterionella formosa*, *Fragilaria crotonensis* *Eunotia zasuminensis*, *Meridion circulare*, *Navicula soehrensensis*, *Achnanthes subatomoides*, *Fragilaria brevistriata* ja *Tabellaria fenestrata*. Järvien lajistomuutokset ilmentävät osaltaan humusvesien runsastumista ja osaltaan ravinnetason nousua.

5.3

Järvikohtaiset muutokset

5.3.1

Pienet humusjärvet

Pusonjärven nokihiukkasajoituksen tulos oli selkeä ja antoi kuvan vähätuottoisesta järvestä ja erittäin niukasta sedimentaatiosta (Hynynen 2006). Paleolimnologisen analyysin mukaan Pusonjärven veden laatu ei ole paljoa muuttunut, mutta hieman on ravinnetaso noussut viimeaikoina. Vesi on aikaisemmin ollut jonkin verran vähähumuksisempaa kuin nykyään. Järveen on viime vuosina tullut valumavesien mukana humuspitoista vettä sekä ravinteita. Vesianalyysitulosten mukaan veden fosfori on ollut hieman alle 10 µg l⁻¹ ja väri vaihdellut 60–80 mg Pt l⁻¹. Mitatut arvot ovat kaksi kertaa piilevillä rekonstruoituja arvoja korkeammat.

Pusonjärven valuma-alueen maankäyttö on ollut melko vähäistä, maltillista. Ojitusintensiteetti on matala ja kunnostusojitusten määrä kohtuullinen samoin kuin ravinnekuorma järven tilavuutta kohden (Kukkonen ym. 2007).

Tuopanjärvi on paleolimnologisen analyysin mukaan ollut aikaisemmin tummavetinen karuhko järvi, jonka fosforipitoisuus on ollut alle 10 µg l⁻¹. Nokihiukkasajoituksen mukaan 1950-luvun jälkeen, mahdollisesti 1960-luvulta lähtien on järvi alkanut rehevöityä. Vuotuinen sedimentaatio on keskimäärin 2,5–3,1 mm, mikä on suurempi kuin niukkaravinteisessa Pusonjärvessä. Valuma-alueen maankäytön lisääntyminen näkyy pohjasedimentin minerogeenisen aineksen lisääntymisenä, mi-

kä ajoittuu 1960-70-luvuille. Nuorimpia näytteitä kohden nousee sedimentin orgaanisen aineksen määrä merkittävästi lisääntynyttä tuotantoa järvestä. Osa järveen tulleista valumavesistä on ollut humuspitoisia, tummia ojitusvesiä, mikä lajistossa näkyy hapahkoja ja tummia vesiä suosivien lajien osuuksien lisääntymisenä. Rehevöityminen on jatkunut näihin päiviin asti; pinnimmaisissa näytteissä on lajeja kuten *Eunotia zasuminensis*, *Asterionella formosa* ja *Aulacoseira ambigua*, joiden fosforioptimi on korkea ja jotka menestyvät rehevissä vesistöissä. Rekonstruoidut veden fosforiarvot (lähes $30 \mu\text{g l}^{-1}$) ilmentävät korkeampaa fosforitasoa, kuin vesianalyysistä mitatut arvot. Loppukesän mitatut väriarvot ovat olleet noin $60\text{--}130 \text{ mg Pt l}^{-1}$, mitkä ovat yhteneviä rekonstruoitujen arvojen kanssa.

Tuopanjärven valuma-alueen maankäyttö on ollut intensiivistä (Kukkonen ym. 2007). Ojitusintensiteetti on korkea ja viimeaikaisia ojituksia on valuma-alueilla tehty runsaasti. Valuma-alueella on lisäksi maanviljelyä, mikä lisää liukoisten ravinteiden osuutta ravinnekuormassa.

Uramon paleolimnologisen analyysin mukaan järvestä ei ole tapahtunut suuria muutoksia, vaan järvi on lähellä luonnontilaa ollen jonkin verran hapahko. Lajistossa lisääntyy välillä rehevyyttä ilmentävien lajien osuus, mutta valtalajeina ovat säilyneet matalahkoa ravinnetasoa ilmentävät lajit. Järven vedestä mitatut kokonaisfosforipitoisuudet ja rekonstruoidut arvot ovat yhteneviä. Mitatut väriarvot, $80\text{--}120 \text{ mg Pt l}^{-1}$, ovat rekonstruoituja arvoja korkeampia. Hehkutuskevennyksen kasvu sedimentin nuoria näytteitä kohden ilmentää orgaanisen aineksen lisääntymistä pintanäytteitä kohden. Se on tyypillistä sedimentin mineralisoitumisen keskeneräisyydestä johtuen. Valuma-alueeltaan Uramo on erämainen. Ojitusintensiteetti on matala ja ravinnekuorma järveen on alhainen myös suhteutettuna järven tilavuuteen (Kukkonen ym. 2007).

Halijärven paleolimnologisen analyysin mukaan järven nuorimpien kerrosten lajit ilmentävät hienoista ravinne- sekä pH-tason nousua. Piilevälajistossa se näkyy *Aulacoseira*-suvun humusvesien niukkaravinteisuutta ilmentävien lajien osuuksien vähenemisenä ja ravinteikkaita vesiä suosivien lajien, kuten *Asterionella formosa*, *Cyclotella stelligera* ja *Tabellaria fenestrata* lisääntymisenä. Hehkutuskevennyksen lasku $12,5 \text{ cm}$ kertoo kivennäismaan lisääntymisestä sedimentissä, mikä usein johtuu valuma-alueella tehdyistä kivennäismaahan asti ulottuvista toimenpiteistä kuten ojituksista. Hehkutuskevennys- ja lajistomuutos ovat peräkkäisiä,

minkä mukaan voidaan päätellä, että valuma-alueella tehdyt toimenpiteet ovat aiheuttaneet järvestä ravinnetason nousun. Sedimenttipatsaassa on nähtävissä humusvesille tyypillisiä lajeja runsaina koko patsaan matkalla, mikä johtuu mahdollisesti valuma-alueelta tulevista hapahkoista humuksellisista valumavesistä.

Halijärven ojitusintensiteetti suhteessa järven tilavuuteen on melko suuri verrattuna muihin pieniin humusjärviin (Kukkonen ym. 2007). Kunnostusojitusten osuus sen sijaan on pieni, mutta ne sijoittuvat melko lähelle ranta-alueita. Laskennallinen fosforikuorma on suurehko. Valuma-alueen järvisyys on suuri, mikä pidättää osan valuma-alueen kuormasta.

Keskijärven sedimenttipatsaassa oli visuaalisesti havaittavissa järven rehevyys: patsaan ylin $0\text{--}23 \text{ cm}$ oli mustaa liejua. Järven paleolimnologisessa selvityksessä näkyy maankäytön ja veden laadun välinen yhteys. Piileväanalyysin mukaan järven vesi on ollut aikaisemmin humuspitoista, mutta on muuttunut kirkkaammaksi ja viimeisen noin 30 vuoden aikana ravinnetaso on noussut runsaasti. Korkea sedimentin orgaanisen aineksen määrä kahdessa ylimmässä näytteessä kertoo selvästi tuotannon lisääntymisestä järvestä. Lisäksi piilevälajisto ilmentää selvää kokonaisfosforipitoisuuden nousua, joka kuitenkin näyttäisi nyt tasaantuneen.



Keskijärven rantaa.

Keskijärven vedenlaatuun vaikuttaa yläjuoksulle sijoittuva kalanviljelylaitos, jonka fosforikuormitus on noin kolmannes laskennallisesta kuormasta (Kukkonen ym. 2007). Lisäksi ravinteet ovat liukoisessa muodossa, jolloin ne ovat suoraan leville käyttökelpoisia. Keskijärven valuma-alueilla on jonkin verran metsätaloutta, jonka orgaaninen kuormitus järvessä aiheuttaa hapen vähenemistä alusvedestä ja sitä kautta sisäistä kuormitusta.

Rauanjärven sedimentin paleolimnologisen analyysin mukaan järvi on aina ollut tummavetinen. Pintaa kohden kasvava minerogeenisen aineksen määrä kertoo valuma-alueella tehdystä maanmuokkauksesta, joka ulottuu kivennäismaahan asti. Valuma-alueella tehty maankäsittelyt ja piilevälaajien lajistomuutokset ravintetasonnousua ilmentäviin lajeihin ovat samanaikaisia, mistä voidaan päätellä, että maankäyttö on lisännyt järven ravinteisuutta. Lisäksi valumavesien mukana tulee hapahkoja humusvesiä, jotka lisäävät niille tyypillistä lajistoa.

Rauanjärven valuma-alue on ojitettu ja viimeaikoina on kunnostusajituksia tehty paljon. Laskennallinen fosforikuormitus on melko korkea järven tilavuutta kohden verrattuna muihin pieniin humusjärviin (Kukkonen ym. 2007). Kuormitus on typi-fosforisuhteen mukaan paljolti peräisin metsätaloudesta. Pohjan pienen vesitilavuuden johdosta alusvedessä ilmenee herkästi hapettomuutta ja siitä johtuvaa ravinteiden vapautumista.

5.3.2

Keskikokoiset humusjärvet

Kajoonjärvestä tehdyn paleolimnologisen analyysin mukaan järven humuspitoisuus ja ravinteikkuus ovat olleet matalat, mutta nousseet jonkin verran viimeaikoina. Humusvesille yleisten lajien osuus kasvaa nykypäivää kohden. Lisäksi pinnimaisten näytteiden lajit ilmentävät ravintetason nousua. Valuma-alueella on viimeaikoina ollut kunnostusajituksia, jotka mahdollisesti ovat lisänneet ravinnekuormaa järvessä.

Kajoonjärvestä on 1994 otettu sedimenttinäytteet paleolimnologista tutkimusta varten kahdesta kohtaa, 50 m syvänteestä ja 40 m syvänteestä (Niinioja ym. 2001). POKAvesi-hankkeen aikana näyte otettiin matalimman syvänteen alueelta. Vuonna 1994 otetut sedimenttinäytteet ajoitettiin nokihiukkasmaenetelmällä. Sen mukaan 1960-luku sijoittui 50 m syvänteen patsaassa 7–8 cm kohdalle ja 40 m patsaassa 6–7 cm kohdalle. Syvänteen keskimääräinen kerrostumisnopeus on vuodesta 1955 lähtien ollut noin 2 mm vuodessa. Viimeisen 10 vuoden aikana on uutta sedimenttiä tullut noin

2 cm, jolloin Kajoonjärven vuonna 2005 otetussa patsaassa 5 cm alaspäin edustaisi vuotta 1980 ja 7–8 cm alaspäin 1960–1970-lukuja. Tällöin viimeaikainen rehevöityminen ajoittuisi 2000-luvun taitteesta nykypäivään.

Kajoonjärven kaukovaluma-alueelta Kajoonjärveen laskevasta Polvijärvestä on Simola (1983) tehnyt paleolimnologisen tutkimuksen. Polvijärven valuma-alueet on ojitettu ja lannoitettu 1960–70-luvuilla ja ne ovat olleet voimallisten metsätaloustoimenpiteiden alaisia. Tutkimustuloksissa on selvästi näkyvissä metsätalouden vaikutukset. Piilevätuotanto lisääntyi ja lajistomuutos tapahtui *Tabellaria flocculosa*-lajista lajeihin *Asterionella formosa*, *Aulacoseira (Melosira) ambigua* ja *Fragilaria crotonensis*. Lajimuutokset ovat samanlaisia kuin Kajoonjärvessä.

Maankäyttömuotojen mukaan Kajoonjärveen tulee kuormitusta maa- ja metsätaloudesta sekä haja-asutuksesta. Lähivaluma-alue on suhteellisen pieni verrattuna järven kokoon ja sen turvemaasuus on melko matala. Järven tilavuus on suuri, mikä laimentaa sinne tulevaa orgaanista aine- ja ravinnekuormaa ja lisää järven sietokykyä. Pitkällä aikavälillä pohjaan sedimentoituu kuitenkin aines- ta, josta myöhemmin saattaa vapautua ravinteita.

5.3.3

Runsashumuksiset järvet

Kinnasjärvestä oli paleolimnologiseen selvitykseen saatavilla useita sedimenttinäytteitä. Hankkeen aikana haetun näytteen lisäksi oli näytteitä yli metrien syvyydestä Hannu Pajusen Geologian tutkimuskeskuksessa vetämästä Järvisedimentit kuiva-aineen ja hiilen nieluina -hankkeesta (Pajunen 2004). Syvimpien näytteiden ikä on jo yli tuhansia vuosia, joten niitä ei pidetä vertailukohteena luonnontilaan.

Geologian tutkimuskeskuksen vetämässä hankkeessa Kinnasjärvestä otettiin 3,26 m pitkä sedimenttipatsas. Se oli laadultaan pääsääntöisesti liejua patsaan alapäässä olevaa ohutta silttikerrosta lukuun ottamatta. Pajusen hankkeen tulosten mukaan Kinnasjärvi on syntynyt mannerjäätikön peräännyttyä alueelta noin 12 200 vuotta sitten, mikä sedimenttipatsaassa vastaa 3,22 m syvyyttä. Radiohiiliajoituksen perusteella alin 160 cm vastaa suunnilleen kuroutumista seurannutta reilua 2 000 vuotta ja ylin n. 160 cm viimeistä 9 000 vuotta.

POKAvesi-hankkeen piileväanalyysin mukaan Kinnasjärvi on kautta aikojen ollut melko runsasravinteinen. Kinnasjärvi on reittivesityyppinen järvi, jolla on pieni lähivaluma-alue, mutta suuri kaukovaluma-alue. Valuma-alueen maankäyttö vaihtelee metsätaloudesta runsaaseen maatalouteen eli haja-

kuormitusveden laatu vaihtelee suuresti. Se näkyy lajistovaihteluissa; metsäisiltä turvemailta tulleet vedet ovat lisänneet hapahkojen humusvesien lajistoa, kuten *A. distans*, kun taas rehevyys näkyy sekä rehevien humusvesien, kuten *A. ambigua* ja *A. granulata* että neutraalien runsasravinteisten vesistöjen lajien lisääntymisenä. Myös rekonstruoidut kokonaisfosforin ja värin arvot vaihtelevat suuresti, mikä sekin ilmentää vedenlaadun vaihtelua Kinnasjärvessä. Luonnontilaan verrattaessa käytetään sedimenttipatsaan 30 cm syvyyden näytteitä.

Harkkojärven paleolimnologisen analyysin mukaan järven vesi on ollut aina melko ravinteikasta ja tummaa. Hehkuskevennyksen mukaan olisi vanhimpien näytteiden aikana minerogeenisen aineksen määrä ollut suuri, mikä viittaa eroosioon valuma-alueelta.

Harkkojärven piilevälajisto on pääosin koko patsaan matkalla runsashumuksisten vesistöjen lajistoa, joista osa on tyypillisiä reheville ja osa niukkaravinteisille järville. Nokihiukkasanalyysi tehtiin liian suurilla väleillä, mutta ajoituksen avulla voidaan kuitenkin arvioida, että 1950-luku sijoittuisi noin 18–24 cm syvyydelle. 19 cm syvyydessä on selvä minimi planktisten piilevälajien osuudessa, mikä mahdollisesti merkitsee happamien, esimerkiksi ojitusalueilta tulleiden vesien suurta määrää. Siitä ylöspäin näkyy lajistossa muutos kohti korkean fosforioptimin lajeja ilmentäen hidasta ravinnanousua järvessä.

Harkkojärven vedenlaatu vaihtelee mahdollisesti samoin kuin Kinnasjärven, jolloin järveen tulee joko sisäisesti tai valuma-alueelta ylimääräisiä ravinteita. Harkkojärvellä on laajat turvemaapitoiset valuma-alueet, joilta tulee laadultaan vaihtelevia valumavesiä.

Koppelojärven paleolimnologisen analyysin mukaan järvessä on tapahtunut selvä muutos niukkaravinteisesta järvestä reheväksi. Sekä rekonstruoidut että mitatut ravinnepitoisuudet tukevat rehevöitymistuloksia. Piilevälajisto viittaa turvemailta peräisin oleviin ravinteikkaisiin valumavesiin, jotka ovat rehevöittäneet järven. Sedimenttipatsaan pintaa kohden ovat lisääntyneet piilevälajit, joita tavataan hyvinkin rehevissä vesissä. Lisäksi planktisten lajien osuus kasvaa selvästi, mikä on yleistä rehevöitymisen yhteydessä.

Hehkuskevennyksen näyte on lyhyt, joten siitä on vaikea tehdä selviä johtopäätöksiä. Verrattaessa piilevästratigrafiaa ja hehkuskevennyksen profiilia, sijoittuu piilevälajiston suurin muutos noin 13 cm kohtaan, kun taas hehkusjäännös kattaa sedimenttiä hieman sen alapuolelle. Hehkusjäännös on melko korkea, 6,5 cm kohdalla

se nousee yli 90 %, kun se sen alapuolella on lähes 80 %. Korkea minerogeenisen aineksen määrä viittaa siihen, että valuma-alueen maankäyttö on ollut intensiivistä ja maanmuokkaus ulottuu kivennäismaahan asti.

Koppelojärven valuma-alueen maankäyttö on intensiivistä ja siitä johtuva kuormitus on suuri (Kukkonen ym. 2007). Turvemaavaltainen valuma-alue on ojitettu/kunnostusojitettu tiheästi. Valuma-alueelta tulevan kuormituksen typpi-fosforisuhteen perusteella suuri osa ravinnekuormasta on metsätaloudesta peräisin. Valuma-alueen järvisyysprosentti on pieni ja veden viipymä melko lyhyt, mitkä lisäävät ja nopeuttavat valuma-alueelta tulevien ravinteiden joutumista Koppelojärveen.

5.3.4

Matalat humusjärvet

Otmenjärven paleolimnologisen analyysin mukaan järvi on aikaisemmin ollut niukkaravinteinen humusjärvi, joka nyttemmin on rehevöitynyt, mitä ilmentävät pintanäytteiden lajit. Järven veden pH on nousemassa rehevöitymisen johdosta. Valuma-alueilta mm. ojitusten seurauksena tulee ravinteikkaita humusvesiä, jotka lisäävät myös niille tyypillistä lajistoa.

Otmenjärven valuma-alueen turvemaasuus, maankäytön intensiivisyys sekä kuormitus ovat melko alhaisia, mutta järven tilavuuteen suhteutettuna ne kasvavat huomattavasti. Lisäksi Otmenjärven ominaispiirteet, pieni tilavuus ja lyhyt viipymä madaltavat sen sietokykyä kuormitusta vastaan.



Otmenjärven rehevää rantaa.

Matalat runsashumuksiset järvet

Hattujärven paleolimnologisessa analyysi perustuu vain piileviin. Sedimenttipatsas oli lisäksi vain 26 cm pituinen, joten tulokset ovat lyhyeltä ajalta. Piileväanalyysin lajistomuutoksen ja rekonstruktioarvojen muutokset ovat kuitenkin selvät ja ilmentävät selvää ravinnetason nousua. Jos Hattujärven ajoitusta arvioidaan Harkkojärven nokihiukkasanalyysin avulla, missä 1950-luku oli noin 18–24 cm syvyydessä, niin Hattujärven patsas kattaisi silloin noin viimeiset 60 vuotta. Silloin rehevöityminen ajoittuu 1950-luvun jälkeiselle ajalle. Hattujärvi on Harkkojärven kaukovaluma-alueella. Harkkojärvi on reittivesi kun taas Hattujärvi on latvavesi. Harkkojärvi on paleolimnologisen selvityksen mukaan ollut aina ravinteikas, kun taas Hattujärvi on aikaisemmin ollut niukkaravinteinen humusjärvi. Hattujärven valuma-alueesta on suuri osa Metsähallituksen omistuksessa. Metsiä on käsitelty voimakkaasti jo vuosikymmenien ajan.

Palojärven nokihiukkasanalyysin tulos on vain suuntaa-antava, mutta sen avulla voidaan arvioida, että 1950-luvulla syntyneet kerrostumat sijainnevat noin 18–20 cm:n syvyydessä. Palojärven sedimentin paksuus on analyysin kattamana aikana kasvanut keskimäärin 3,3–3,6 mm vuodessa, jolloin 1970-luvun alun kerrostumat sijaitsisivat 12–13 cm:n syvyydessä (Hynynen 2006). Kerrostuminen on ollut huomattavasti suurempaa kuin niukkaravinteisessa Pusonjärvessä.

Palojärven sedimenttipatsaan orgaanisen aineksen osuus kasvaa vähitellen pintaa kohden ilmentäen tuotannon kasvua ja rehevöitymistä. Piilevälajiston mukaan järvi on rehevöitynyt, mutta palautunut viime aikoina. Planktisten lajien



Palojärvi on matala, runsashumuksinen järvi.

osuuden väheneminen kertoo myös veden happamoitumisesta. Ajallisesti rehevöityminen ajoittuu 1970–1980-lukujen taitteesta nykypäivään.

Palojärvellä on laajat turvemaapitoiset valuma-alueet, joista suuren osan omistaa Metsähallitus. Turvemaat on tiheästi ojitettu 1960–70-luvuilla. Viime vuosina ei valuma-alueella ole ollut kovin paljon kunnostusojituksia, mutta niiden määrä suhteessa järven tilavuuteen on huomattava. Valuma-alueelta tuleva fosforikuorma on myös melko suuri suhteessa järven kokoon. Ravinnekuorman typpifosforisuhteen mukaan suurin osa kuormasta on metsätaloudesta peräisin. Palojärven viipymä on lyhyt, mikä nopeuttaa ravinteiden kulkeutumista järveen ja siitä eteenpäin. Palojärvi on matalahko eikä siinä havaittu lämpötilakerrostuneisuutta eikä myöskään pohjan läheisten kerrosten hapettomuutta kesällä 2005.

Oskajärven paleolimnologisen selvityksen tulokset ovat näytteen lyhyiden vuoksi vain suuntaa-antavia. Järvi on piilevälajiston perusteella rehevä.

Lyhytviipymäiset järvet

Naarvanjärven vedenlaadussa ei paleolimnologisen analyysin mukaan näytä tapahtuneen suuria muutoksia. Naarvanjärvi on Harkkojärven ja Kinnasjärven tavoin reittivesi, jonne tulee laajoilta tässä tapauksessa metsäisiltä valuma-alueilta ravinteikkaita valumavesiä. Lisäksi Naarvanjärvi on lyhytviipymäinen, jolloin ravinteita tulee paljon. Pintanäytteissä on humusjärville tyypillisten lajien lisäksi paljon rehevien vesien lajeja, mikä kertoo jonkin asteisesta rehevöitymisestä tai järven yleisesti korkeasta ravinteikkuudesta. Valumavesien mukana tulevat hapahkojen humusvesien lajien osuus pysyy tasaisena patsaassa.

Petkeljärven sedimenttinäyte on 71 cm pitkä, mutta vertailusyvyytenä käytetään lähinnä 30 cm syvyyttä, sillä syvempien kerrosten ajoituksesta ei ole tietoa. Nokipallosanalyysin mukaan 1950-lukua vanhemmat kerrokset sijaitsivat 18 cm alapuolella. Petkeljärven vedenlaadussa ei piilevälajien mukaan ole tapahtunut oleellisia muutoksia. Lajisto koostuu turvemaille tyypillisten ravinteikkaiden ja humuspitoisten valumavesien taksoneista. Järvi on aina ollut kohtuullisen rehevä ja sen sedimentaatio-nopeus noin 3,3 mm vuodessa. Pinnimmaisissa näytteissä näkyy kuitenkin jonkin verran ravinnetason nousua. Samaan tapaan kuin muihinkin hankkeen reittivesiin tulee Petkeljärveen paljon vedenlaadultaan vaihtelevaa vettä, jolloin myös itse järven vedenlaatu vaihtelee runsaasti.

6 Yhteenveto

Pohjois-Karjalan vesistöjen tilan parantaminen -hankkeen paleolimnologian osiossa selvitettiin 16 pohjoiskarjalaisen järven veden laadun historiaa. Järvien valuma-alueiden pääasiallinen maankäyttö on metsätalous. Joillakin valuma-alueilla oli lisäksi maataloutta ja kalanviljelyä. Valuma-alueen maankäyttö on selvästi vaikuttanut kohdejärvien vedenlaatuun, mikä on nähtävissä sedimentistä analysoitujen piikkuoristen piilevien lajimuutoksissa.

Tulosten mukaan pienistä humusjärivistä Pusonjärvi, Uramo ja Halijärvi sekä keskikokoisiin humusjärviin kuuluva Kajoanjärvi ovat kirkasvetisiä ja hyväkuntoisia, luonnontilaan verrattaessa piilevälajistomuutokset ovat olleet vähäisiä. Lähinnä Halijärvessä ja Kajoanjärvessä on selvimmin nähtävissä viimeaikainen lievä ravinnetason nousu. Rauanjärvi on muita pieniä humusjärviä tummempi. Järveen tulee paljon orgaanista ainesta ja se muistuttaa runsashumuksisia järviä. Viimeaikoina sen ravinnetaso on jonkin verran kohonnut, mutta yleisesti järvi on hyvässä kunnossa.

Tuopanjärvi ja Keskijärvi ovat selvimmin rehevöityneitä pienistä humusjärivistä. Niihin molempiin tulee kuormitusta metsätalouden ohessa maataloudesta tai kalanviljelylaitoksesta. Järvien vesiensuojeluun tulisi kiinnittää erityisesti huomiota.

Runsashumuksista järivistä Kinnasjärvi ja Harkkojärvi ovat reittivesityyppisiä järviä, jotka molemmat näyttäisivät olleen aina suhteellisen ravinteikkaita ja joiden vedenlaatu on vaihdellut paljon johtuen lähinnä vaihtelevista valumavesistä. Koppelojärvi, joka on latvajärvi, on selvästi kahteen edelliseen verrattaessa rehevöitynyt. Aikaisemmin järvi on ollut niukkaravinteinen. Latvajärvet toi-

mivat usein suodattimina valuma-alueen kuormitukselle. Koppelojärven vedenlaadun muutos on ollut huomattava verrattuna reittivesiluonteisiin runsashumuksisiin järviin.

Matalia humusjärviä edustava Otmenjärvi on rehevöitynyt. Järven vesimassan tilavuus on pieni vastaanottamaan valuma-alueen kuormitusta. Matalista runsashumuksisista järivistä Oskajärvi on rehevätkö. Näytteenoton epäonnistuminen vaikuttaa tulosten tulkintaan. Saman tyyppin Palojärvi on latvajärvi, jonka valuma-alue on intensiivisesti hyödynnetty. Järvi on selvästi rehevöitynyt, mutta viime aikoina sen tila näyttäisi parantuneen. Palojärvi toimii samaan tapaan kuin Koppelojärvi suodattimena yläpuoliselta valuma-alueelta tuleville valumavesille. Mahdollisten kunnostusojitusten yhteydessä tulee huolehtia riittävästä vesiensuojelusta, ettei veden laatu heikkene järvessä uudestaan.

Lyhytviipymäisten Petkel- ja Naarvanjärven piilevälajistomuutokset ovat olleet samantyyppisiä Kinnasjärven ja Harkkojärven kanssa. Järvet ovat aina olleet suhteellisen runsasravinteisia ja vedenlaadultaan muuttuvia. Runsas orgaaninen aine aiheuttaa kuitenkin näillekin järville uhkan sedimentoitua pohjaan ja aiheuttaessaan siellä hajotessaan alusveden hapettomuutta ja sitä kautta sisäistä kuormitusta.

Vuonna 2000 hyväksytty Euroopan unionin vesipuitedirektiivi (EU 2000) velvoittaa vesien hyvää tilaa vuoteen 2015 mennessä. Osassa hankejärvisistä tarvitaan vesiensuojelullisia toimenpiteitä, jotta tavoite saavutettaisiin. Vesistöjen vertailutila ja järvessä tapahtuneet muutokset on hyvä selvittää suunniteltaessa mahdollisia kunnostustoimenpiteitä. Selvityksiin voidaan käyttää paleolimnologisia menetelmiä, jos pitkäaikainen vedenlaadun seuranta puuttuu.



Rauanjärven rantamaisemaa.

LÄHTEET

- Ahtiainen, M. 1992. The effects of forest clear-cutting and scarification on the water quality of small brooks. In: Ilmavirta, V. and Jones, R.I. (eds.) The dynamics and use of lacustrine ecosystems. *Hydrobiol.* 243/244: 465–473.
- Ahtiainen, M. ja Huttunen, P. 1995. Metsätaloustoimenpiteiden pitkäaikaisvaikutukset purovesien laatuun ja kuormaun. Julkaisussa: Saukkonen, S. ja Kenttämies, K. (toim.). Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2: 32–501.
- Ahtiainen, M. and Huttunen, P. 1999. Long-term effects of forestry managements on water quality and loading in brooks. *Boreal environment research* 4: 101–114.
- Andersson, N.J. 1990a: Variability of diatom concentrations and accumulation rates in sediments of a small lake basin. – *Limnology Oceanography* 35: 497–508.
- Andersson, N.J. 1990b: Using the past to predict the future: lake sediments and the modelling of limnological disturbance. *Ecological modelling* 78: 149–172.
- Dixit, S.S., Smol, J.P., Kingston, J.C. and Charles, D.F. 1992. Diatoms: Powerful indicators of environmental change. *Environmental science and technology*. 26: 22–33.
- Eloranta, P. 1986. *Melosira distans* var. *tenella* and *Eunotia zasuminensis*, two poorly known planktonic diatoms in Finnish lakes. *Nordic Journal of Botany* 6: 99–103.
- Hill, M. O. and Gauch, H. G. 1980. Detrended correspondence analysis. An improved ordination technique. *Vegetatio* 42: 47–58.
- Holopainen, A.-L., Niinioja, R. ja Kukkonen, M. 2007. Pienten humusjärvien ekologisen tilan määrittely kasviplanktonin ja vedenlaaden perusteella. Pohjois-Karjalan vesistöjen tilan parantaminen – hanke. Pohjois-Karjalan ympäristökeskuksen raportteja 6. 57 s.
- Huttunen, P. and Meriläinen, J. 1983. Interpretation of lake quality from contemporary diatom assemblages. *Hydrobiologia* 103: 91–97.
- Huttunen, P. and J. Turkia, 1994. Diatoms as indicators of alkalinity and TOC in lakes: estimation of optima and tolerances by weighted averaging. *Mem. Calif. Acad. Sci.* 17: 649–658.
- Hynynen, J. 2005. Kuuden pohjoiskarjalaisen järven sedimentin nokihiuksasajoitus. Tutkimusselostus 3 sivua + kuvat 3 kpl. Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskus.
- Krammer, K. und Lange-Bertalot, H. 1986. *Bacillariophyceae* Teil 2/1: Naviculaceae. Ettl. H., Grilloff H. ja Mollenhauer, D. (eds.). *Süsswasserflora von Mitteleuropa*. 57 s.
- Krammer, K. und Lange-Bertalot, H. 1991: *Bacillariophyceae* Teil 2/3: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Ettl., H., Grilloff, H. and Mollenhauer, D. (eds.). *Süsswasserflora von Mitteleuropa*. 576 s.
- Kukkonen, M. 1994. Haarakjärven sedimenttitutkimus: piilevät ja elohopea. Pohjois-Karjalan vesi- ja ympäristöpiirin monisteita 16. 20 s.
- Kukkonen, M., Hassinen, A., Holopainen, A.-L., Kekäläinen, J., Leppä, M., Miettinen, J., Niinioja, R., Nykänen, J., Viljanen, M. ja Luotonen, H. 2007. Metsäjärvien tila ja tulevaisuus. Pohjois-Karjalan vesistöjen tilan parantaminen -hanke. Pohjois-Karjalan ympäristökeskuksen raportteja 8. 113 s.
- Lange-Bertalot, H. und Krammer, K. 1987. *Bacillariophyceae* 2/2: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. Ettl., H., Grilloff, H. und Mollenhauer, D. (eds.). *Süsswasserflora von Mitteleuropa*. 596 s.
- Liehu, A., Sandman, O. and Simola, H. 1986. Effects of peatbog ditching in lakes: Problems in paleolimnological interpretation. *Hydrobiologia* 143: 417–424.
- Miettinen, J. O. 2003. A diatom-total phosphorus transfer function for freshwater lakes in southeastern Finland, including cross-validation with independent test lakes. *Boreal environment research* 8: 215–228.
- Miettinen, J. O., Kukkonen, M. and Simola, H. 2005: Hindcasting baseline values for water colour and total phosphorus concentration in lakes using sedimentary diatoms – implications for lake typology in Finland. *Boreal Env. Res.* 10: 31–43.
- Meriläinen, J., Huttunen, P. and Pirttiala, K. 1982. The effect of land use on the diatom communities in lakes. *Hydrobiologia* 86: 99–103.
- Niinioja, R., Sandman, O., Turkia, J., Huttunen, P. ja Tossavainen, T. 2001. Metsätaloustoimenpiteiden vaikutukset Kajaanijärvessä ja Kuohattijärvessä – Joensuu : Pohjois-Karjalan ympäristökeskus 2001 . – 50 s. taul. Alueelliset ympäristöjulkaisut ; 246
- Pajunen, H. 2004: Järvisedimentit kuiva-aineen ja hiilen varastona. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti, 160. 308 s.
- Renberg, I. and Wik, M. 1984. Dating recent lake sediments by soot particle counting. – *Verh.internat. Verein Limnol.* 22: 712–718.
- Räsänen, J., Kenttämies, K. and Sandman, O. 2007. Paleolimnological assessment of the impact of logging on small boreal lakes. *Limnologica* 2: 193–207.
- Rönkkö, J. and Simola, H. 1986. Geological control upon the floral manifestation of eutrophication in two headwater lakes. Joensuu yliopisto, Karjalantutkimuslaitoksen julkaisuja 79: 89–96.
- Rönkkö, J., Simola, H. and Siira, J. 1986. Effects of forest management on the benthic diatoms of small forest streams in East Finland. F.E. Round (toim.) *Proceedings of the 9th Diatom Symposium*, 102–106. Biopress, Bristol and Koeltz. Scientific Publishers, Koenigstein.
- Sandman, O., Liehu, A. and Simola, H. 1990. Drainage ditch erosion history as recorded in the varved sediment of a small lake in East Finland. *Journal of Paleolimnology* 3: 161–69.
- Sandman, O., Turkia, J. ja Huttunen, P. 1992. Paleolimnologinen tutkimus metsäojituksen ja -lannoituksen vesistövaikutuksista Juupajoen Kalliojärvestä. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja – sarja A 84, 53 s.
- Sandman, O., Turkia, J. ja Huttunen, P. 1994. Metsätalouden pitkäaikaiset vaikutukset suurissa järvissä, Kuhmon Änättijärven ja Lentua sedimenttitutkimus. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja sarja A 179: 1–56.
- Sandman, O., Turkia, J. ja Huttunen, P. 1995. Metsänkäsittelyn vaikutukset järvien paleolimnologiaan muutoksiin. Saukkonen, S. ja Kenttämies, K. (toim.). Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta: METVE-projektin loppuraportti, Suomen ympäristö 2: 213–227
- Simola, H. 1993. Limnological effects of peatland drainage and fertilization as reflected in the varved sediment of a deep lake. *Hydrobiologia* 106: 43–57.

- Simola, H. Kukkonen, M., Lahtinen, J. and Tossavainen, T. 1995. Effects of insive forstry and peatland management on forest lake ecosystems in finland: sedimentary records of diatom floral changes. Teoksessa: Marino, D. and Montresor, M. (toim.): Proceedings of the 13th International Diatom Symposium, 1–7 September 1994, Acquafredda di Maratea, Italy, Koeltz Scientific Books Koenigstein: 121–127.
- Smol, J.P., Brown, S.R. and McIntosh, H.J. 1984. A hypothetical relationship between differential algal sedimentation and diatom succession. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 22: 1361–1365.
- Stoermer, E. F. and Smol, J. (toim.) 1999. *The diatoms: Application for the Environmental and Earth Sciences.* 460 s. Cambridge, University press.
- Ter Braak, C.J.F. 1986. Canonical correspondence analysis. A new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67: 1167–1179.
- ter Braak, C. J.F. 1987. CANOCO – a FORTRAN program for canonical community ordina-tions by [partial] [detrended] [canonical] correspondence analysis and redundancy analysis (version 2.1). Wageningen, 95 s.
- ter Braak, C. J.F. 1990. Update notes: CANOCO version 3.10. Wageningen, 35 s.
- Tolonen, K. Haapalahti, R. and Suksi, J. 1992. comparison of varve dated soot ball chronology and lead 210 dating in Finland. Geological survey Finland, Special paper 14: 65–75.

LIITE I

Liite I. Hankejärvisissä esiintyneet lajit ja niistä käytetyt lyhenteet.

| | | | |
|-----------|---|----------|---|
| | | | |
| ACHdidym | Achnanthes didyma Hust. | EUNfaba | Eunotia faba Ehrenberg |
| ACHlaevi | Achnanthes laevis Oestrup | EUNincis | Eunotia incisa Gregory |
| ACHlinea | Achnanthes linearis Grunow | EUNmeist | Eunotia meisteri Hust. |
| ACHNimpe | Achnanthes impexa Lange-Bertalot | EUNpalud | Eunotia paludosa Grun |
| ACHNleva | Achnanthes levanderi Hust. | EUNpecti | Eunotia pectinalis (Dyllumyn) Rabenh. |
| ACHNminT | Achnanthes minutissima Kuetz. | EUNpraer | Eunotia praerupta Ehrenb. |
| ACHNsuba | Achnanthes subatomoides (Hust.) Lange-Bertalot et Archib. | EUNrhy | Eunotia rhynchocephala Hustedt |
| ACHrecur | Achnanthes recurvata Coll. | EUNzasum | Eunotia zasuminensis |
| ACHstol | Achnanthes stolidia Krasske | FRAbrevi | Fragilaria brevistriata Grun. |
| AMPcopul | Amphora copulata (Kützing) Schoeman & Archibald | FRAcapuc | Fragilaria capucina Desmaz. |
| ANOMbrac | Anomoeoneis brachysira (Brébisson) Grunow | FRAconta | Fragilaria construens (Ehr.) Grun. |
| ANOseria | Anomoeoneis serians (Brébisson) | FRAGcaVg | Fragilaria capucina v. Gracilis |
| ASTEform | Asterionella formosa Hassal, | FRAGcrot | Fragilaria crotonensis Kitton |
| AULAalpi | Aulacoseira alpigena (Grun.) Krammer | FRAGpaVs | Fragilaria parasitica (W. Smith) Grunow |
| AULAambi | Aulacoseira ambigua (Grun.) Simonsen, | FRAGpinn | Fragilaria pinnata Ehr |
| AULAdist | Aulacoseira distans (Ehrenb.) Simonsen | FRAGuVAA | Fragilaria ulna (Nitzsch.) Lange-Bertalot var. acus (Kuetz.) Lange-Bertalot |
| AULAggran | Aulacoseira granulata (Ehrenb.) Simonsen | FRAvires | Fragilaria virescens Ralfs |
| AULAhumi | Aulacoseira humilis (Cleve-Euler) Gasse | FRUSrhom | Frustulia rhomboides (Ehrenb.) De Toni |
| AULAital | Aulacoseira italica (Ehrenberg.) Simonsen, | GOMacumi | Gomphonema acuminatum Ehrenberg |
| AULAkape | Aulacoseira italica var. tenuissima (Grun.) Simons. | GOMparvu | Gomphonema parvulum Kuetz. |
| AULAlacu | Aulacoseira lacustris (Grun.) Krammer | MERCirc | Meridion circulare (Greville) Agardh |
| AULAlira | Aulacoseira lirata (Ehrenberg.) Rosws | NAVcoc | Navicula cocconeiformis Gregory ex Greville |
| AULAsuba | Aulacoseira subarctica (O. Müller) Haworth, | NAVind | Navicula indifferens Hust. |
| AULAsubK | Aulacoseira subarctica "korkea" | NAVIpupu | Navicula pupula Kützing |
| AULitava | Aulacoseira italica v. Valida (Grun.) | NAVmedio | Navicula mediocris Krasske |
| AULperg | Aulacoseira perglabra (Østrup) | NAVradiT | Navicula radiosa Kützing |
| AULtenel | Aulacoseira tenella (Nygaard) Simonsen | NAVradte | Navicula radiosa v. Tenella |
| CYCbodan | Cyclotella bodanica Grunow | NAVsemin | Navicula seminulum Grunow |
| CYCCiris | Cyclotella iris Brun et Hérilaud. | NAVsubti | Navicula subtilissima Cleve |
| CYCLpsel | Cyclotella pseudostelligera Hustedt | NAVviti | Navicula vitiosa Schimanski |
| CYCLradi | Cyclotella radiosa Grunow | NEIampli | Neidium ampliatum (Ehrenberg) Krammer |
| CYCLross | Cyclotella rossii (Grunow) Håkansson | NITfonti | Nitzschia fonticola Grunow |
| CYCLstel | Cyclotella stelligera Cleve et Grun. | NITpalea | Nitzschia palea (Kuetzing) W. Smith |
| CYCSdubi | Cyclotephanos dubius (Fricke) Round | NITper | Nitzschia perminuta (Grun.) M. Peragallo |
| CYMcesa | Cymbella cesatii (Rabenhorst) Grunow | PINGibba | Pinnularia gibba Ehrenberg |
| CYMdescr | Cymbella descripta (Hustedt) Krammer & Lange-Bertalot | PINvirid | Pinnularia viridis (Nitzsch) Ehrenberg |
| CYMicro | Cymbella microcephala Grunow | STAScoVv | Starosira construens v. Vulgaris |
| CYMnavic | Cymbella naviculiformis (Auerswald) Cleve | TABbin | Tabellaria binalis (Ehrenberg) Grun. |
| CYMsiles | Cymbella silesiaca Bleisch. | TABfenes | Tabellaria fenestrata (Lyngbye) Kuetz |
| DENTenui | Denticula tenuis Kuetzing | TABfloc3 | Tabellaria flocculosa "3" |
| EUNbilun | Eunotia bilunaris (Ehrenb.) Mills | TABfloc | Tabellaria flocculosa (Roth) Kuetz. |

LIITE 2/I

Liite 2. Hankejärvien tärkeimpien lajien osuudet eri näytesyvyyksillä.

| | Pusonjärvi | | | | | | Tuopanjärvi | | | | | | | | Uramo | | | | | | | |
|--------------------------|-----------------|----|----|----|----|----|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|-----------------|----|----|----|----|----|--|--|
| | Näytesyvyys, cm | | | | | | Näytesyvyys, cm | | | | | | | | Näytesyvyys, cm | | | | | | | |
| Laji | 0 | 7 | 13 | 19 | 25 | 30 | 0 | 6 | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 | 0 | 7 | 13 | 13 | 19 | 25 | 30 | | |
| ANOMbrac | 0 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 0 | 0 | 5 | 2 | 1 | 0 | 3 | 6 | 2 | 2 | 5 | 0 | 1 | 9 | | |
| ASTEform | 8 | 17 | 2 | 0 | 0 | 0 | 12 | 13 | 12 | 4 | 3 | 4 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | | |
| AULAambi | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 31 | 15 | 4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | | |
| AULAdist | 8 | 3 | 8 | 12 | 3 | 6 | 5 | 0 | 0 | 0 | 6 | 6 | 6 | 10 | 8 | 10 | 2 | 10 | 10 | 1 | | |
| AULAgran | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| AULAhumi | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| AULAital | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 4 | | |
| AULakape | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| AUALacu | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 3 | 1 | 6 | 6 | 0 | | |
| AUALira | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 4 | 6 | 3 | 9 | 6 | 7 | | |
| AULAsuba | 28 | 33 | 37 | 43 | 38 | 31 | 2 | 9 | 6 | 17 | 12 | 23 | 25 | 22 | 29 | 26 | 12 | 17 | 23 | 5 | | |
| AULAsubK | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 | 0 | 5 | 3 | 0 | | |
| AULitava | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 3 | 0 | 5 | 2 | 1 | | |
| AULtenel | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 7 | 3 | 7 | 6 | 9 | 2 | 1 | 2 | 12 | 1 | 0 | 5 | | |
| CYCLpsel | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | | |
| CYCLradi | 4 | 5 | 4 | 1 | 1 | 0 | 2 | 3 | 10 | 3 | 7 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| CYCLross | 14 | 18 | 23 | 29 | 37 | 44 | 0 | 0 | 11 | 20 | 13 | 8 | 15 | 21 | 17 | 16 | 9 | 10 | 11 | 7 | | |
| CYCLstel | 0 | 0 | 1 | 3 | 1 | 4 | 2 | 6 | 10 | 6 | 8 | 4 | 3 | 6 | 6 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | | |
| EUN summa | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 4 | 2 | 1 | 1 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 4 | 5 | 2 | | |
| EUNzasum | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| FRAbrevi | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 9 | | |
| FRAcapuc | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 | 4 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 5 | 2 | 0 | | |
| FRAGcrot | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| FRAGpinn | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 1 | | |
| FRAvires | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | 7 | | |
| FRUSrhom | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 10 | 8 | 0 | 7 | 4 | 7 | 3 | 5 | 5 | | |
| TABfenes | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | | |
| TABfloc3 | 0 | 1 | 2 | 0 | 3 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | | |
| TABflocc | 24 | 4 | 2 | 1 | 0 | 0 | 6 | 18 | 5 | 15 | 11 | 9 | 5 | 7 | 5 | 4 | 0 | 3 | 3 | 1 | | |
| Planktisten lajien osuus | 65 | 79 | 77 | 90 | 85 | 86 | 71 | 65 | 63 | 57 | 64 | 65 | 67 | 72 | 69 | 78 | 72 | 74 | 36 | 63 | | |

LIITE 2/2

| | Halijärvi | | | | | | Keskijärvi | | | | | | | | Rauanjärvi | | | | | |
|--------------------------|-----------------|----|----|----|----|----|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|-----------------|----|----|----|----|--|
| | Näytesyvyys, cm | | | | | | Näytesyvyys, cm | | | | | | | | Näytesyvyys, cm | | | | | |
| Laji | 0 | 7 | 13 | 19 | 25 | 32 | 0 | 7 | 12 | 19 | 25 | 31 | 36 | 0 | 7 | 13 | 19 | 24 | 31 | |
| ANOMbrac | 1 | 3 | 3 | 1 | 3 | 4 | 0 | 1 | 8 | 5 | 4 | 7 | 7 | 2 | 1 | 5 | 3 | 3 | 4 | |
| ASTEform | 13 | 10 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| AULAambi | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 8 | 7 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| AULAdist | 10 | 12 | 13 | 18 | 16 | 24 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 4 | 0 | |
| AULAggran | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| AULAhumi | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| AULAital | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 14 | 0 | 7 | 4 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| AULAkape | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 8 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| AUALacu | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | |
| AUALira | 0 | 2 | 0 | 4 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | |
| AULAsuba | 11 | 23 | 28 | 38 | 31 | 23 | 1 | 0 | 1 | 2 | 6 | 10 | 10 | 15 | 17 | 16 | 18 | 26 | 22 | |
| AULAsubK | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | |
| AULitava | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| AULtenel | 3 | 3 | 2 | 1 | 16 | 8 | 0 | 0 | 1 | 1 | 6 | 0 | 4 | 23 | 40 | 45 | 30 | 33 | 23 | |
| CYCLpsel | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 7 | 3 | 2 | 2 | 2 | |
| CYCLradi | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5 | 7 | 1 | 0 | 1 | 0 | 4 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| CYCLross | 9 | 7 | 7 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 15 | 10 | 15 | 12 | 10 | 6 | 5 | 3 | 1 | 10 | 7 | |
| CYCLstel | 12 | 8 | 4 | 3 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 12 | 8 | 5 | 5 | 3 | 2 | |
| EUN summa | 1 | 1 | 5 | 4 | 8 | 8 | 1 | 2 | 2 | 2 | 5 | 6 | 5 | 1 | 2 | 4 | 6 | 2 | 8 | |
| EUNzasum | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| FRABrevi | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 3 | 1 | 0 | 6 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| FRACapuc | 2 | 4 | 1 | 1 | 0 | 0 | 4 | 5 | 3 | 3 | 5 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| FRAGcrot | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| FRAGpinn | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| FRAvires | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 9 | 2 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 3 | |
| FRUSrhom | 1 | 1 | 6 | 9 | 7 | 10 | 0 | 0 | 2 | 1 | 5 | 5 | 5 | 1 | 1 | 3 | 7 | 3 | 0 | |
| TABfenes | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| TABfloc3 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 5 | 3 | 3 | 2 | 5 | 4 | 3 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | |
| TABfloc | 15 | 12 | 9 | 8 | 4 | 4 | 0 | 5 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Planktisten lajien osuus | 65 | 75 | 62 | 72 | 71 | 64 | 44 | 54 | 39 | 41 | 42 | 42 | 36 | 70 | 77 | 77 | 70 | 79 | 57 | |

LIITE 2/3

| | Kajoonjärvi | | | | | | Kinnasjärvi | | | | | | | | |
|--------------------------|-----------------|----|----|----|----|----|-----------------|----|----|----|----|----|----|-----|-----|
| | Näytesyvyys, cm | | | | | | Näytesyvyys, cm | | | | | | | | |
| Lyhenne | 0-1 | 6 | 12 | 18 | 24 | 30 | 0 | 7 | 13 | 19 | 25 | 31 | 80 | 120 | 180 |
| ANOMbrac | 1 | 2 | 4 | 1 | 4 | 11 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 |
| ASTEform | 3 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 2 | 2 |
| AULAambi | 11 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 10 | 41 | 29 | 15 | 10 | 2 | 1 | 2 |
| AULAdist | 7 | 1 | 1 | 15 | 7 | 0 | 17 | 15 | 8 | 9 | 15 | 15 | 1 | 0 | 2 |
| AULAgran | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| AULAhumi | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| AULAital | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 1 | 4 |
| AULakape | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| AULalacu | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 7 | 1 | 5 | 1 | 2 | 3 | 6 | 2 | 1 | 0 |
| AULalira | 9 | 2 | 2 | 3 | 3 | 0 | 2 | 4 | 4 | 14 | 5 | 15 | 7 | 5 | 7 |
| AULasuba | 27 | 16 | 19 | 28 | 24 | 10 | 11 | 8 | 3 | 4 | 11 | 9 | 7 | 5 | 7 |
| AULasubK | 4 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 5 | 2 | 6 | 32 | 17 | 0 | 0 | 0 |
| AULitava | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 2 | 0 | 4 | 3 | 3 | 3 |
| AULtenel | 2 | 5 | 3 | 0 | 2 | 5 | 4 | 9 | 0 | 1 | 0 | 0 | 10 | 7 | 5 |
| CYCLpsel | 0 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| CYCLradi | 3 | 1 | 0 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CYCLross | 4 | 28 | 31 | 25 | 13 | 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CYCLstel | 1 | 5 | 2 | 5 | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 |
| EUN summa | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 5 | 8 | 7 | 12 | 3 | 5 | 6 | 5 | 5 |
| EUNzasum | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| FRAbrevi | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 5 |
| FRAcapuc | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| FRAGcrot | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| FRAGpinn | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| FRAvires | 0 | 5 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 | 4 |
| FRUSrhom | 0 | 1 | 3 | 0 | 5 | 1 | 3 | 2 | 0 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0 |
| TABfenes | 6 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 3 | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| TABfloc3 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 5 | 5 |
| TABflocc | 4 | 1 | 1 | 3 | 13 | 0 | 16 | 9 | 5 | 2 | 4 | 5 | 1 | 1 | 2 |
| Planktisten lajien osuus | 81 | 69 | 75 | 60 | 58 | 48 | 53 | 67 | 77 | 70 | 84 | 76 | 48 | 41 | 52 |

LIITE 2/4

| | Harkkojärvi | | | | | | | | | Koppelojärvi | | | | | | | | |
|--------------------------|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----------------|----|----|----|----|----|----|-----|-----|
| | Näytesyvyys, cm | | | | | | | | | Näytesyvyys, cm | | | | | | | | |
| Lyhenne | 0 | 7 | 13 | 19 | 25 | 31 | 37 | 61 | 121 | 0 | 7 | 13 | 19 | 31 | 61 | 91 | 121 | 151 |
| ANOMbrac | 1 | 1 | 1 | 6 | 4 | 3 | 4 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| ASTEform | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 18 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 1 |
| AULAambi | 5 | 4 | 2 | 1 | 4 | 3 | 0 | 3 | 3 | 17 | 6 | 2 | 2 | 0 | 3 | 5 | 5 | 2 |
| AULAdist | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 3 | 9 | 16 | 16 | 25 | 19 | 11 | 20 | 26 |
| AULAgran | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| AULAhumi | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| AULAital | 10 | 8 | 6 | 5 | 6 | 5 | 11 | 4 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| AULAkape | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 14 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| AUALacu | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 6 | 6 | 0 | 0 | 1 | 4 | 3 | 0 | 1 | 3 | 1 | 1 | 0 |
| AUALira | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 3 | 4 | 8 | 5 | 6 | 17 | 10 | 3 |
| AULAsuba | 7 | 6 | 4 | 1 | 3 | 9 | 4 | 2 | 3 | 0 | 17 | 8 | 12 | 16 | 28 | 22 | 35 | 15 |
| AULAsubK | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 56 | 37 | 1 | 4 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| AULitava | 0 | 1 | 0 | 2 | 3 | 5 | 2 | 3 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 2 | 3 | 4 | 2 |
| AULtenel | 4 | 5 | 10 | 7 | 4 | 4 | 6 | 10 | 6 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3 | 1 | 4 | 0 | 1 |
| CYCLpsel | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CYCLradi | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CYCLross | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 1 |
| CYCLstel | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 5 |
| EUN summa | 6 | 6 | 6 | 10 | 8 | 5 | 9 | 3 | 2 | 1 | 2 | 8 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| EUNzasum | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| FRABrevi | 5 | 2 | 2 | 2 | 1 | 3 | 9 | 2 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 1 | 0 |
| FRACapuc | 7 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| FRAGcrot | 10 | 16 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| FRAGpinn | 2 | 1 | 1 | 5 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 3 |
| FRAvires | 0 | 3 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| FRUSrhom | 2 | 3 | 6 | 3 | 5 | 4 | 4 | 1 | 1 | 0 | 4 | 6 | 2 | 7 | 5 | 2 | 1 | 0 |
| TABfenes | 5 | 0 | 2 | 0 | 4 | 3 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TABfloc3 | 2 | 1 | 3 | 0 | 0 | 1 | 3 | 1 | 2 | 0 | 2 | 1 | 0 | 2 | 2 | 0 | 1 | 2 |
| TABflocc | 0 | 5 | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 23 | 45 | 23 | 13 | 10 | 2 | 15 |
| Planktisten lajien osuus | 60 | 55 | 40 | 31 | 42 | 50 | 45 | 37 | 42 | 95 | 86 | 55 | 45 | 56 | 65 | 69 | 82 | 59 |

LIITE 2/5

| | Keski-Otmen | | | | | | | Hattujärvi | | | | | Palojärvi | | | | | | | | | | Oskajärvi | |
|--------------------------|-----------------|----|----|----|----|----|----|-----------------|----|----|----|----|-----------------|----|----|----|----|----|----|-----|-----|----|-----------|--|
| | Näytesyvyys, cm | | | | | | | Näytesyvyys, cm | | | | | Näytesyvyys, cm | | | | | | | | | | | |
| Laji | 0 | 7 | 12 | 19 | 24 | 30 | 37 | 0 | 7 | 13 | 19 | 25 | 0 | 7 | 13 | 19 | 31 | 61 | 91 | 121 | 211 | 0 | 12 | |
| ANOMbrac | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 1 | 2 | 0 | |
| ASTEform | 0 | 3 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 39 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | |
| AULAambi | 3 | 1 | 4 | 4 | 3 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 4 | 6 | 15 | 4 | 16 | 6 | |
| AULAdist | 0 | 2 | 4 | 6 | 2 | 10 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 7 | 15 | 13 | 13 | 24 | 12 | 14 | 7 | 23 | 17 | 15 | |
| AULAgran | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| AULAhumi | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 3 | 4 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| AULAital | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 16 | 5 | 4 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| AULAkape | 1 | 0 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| AUALacu | 5 | 1 | 3 | 6 | 1 | 7 | 4 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 8 | 35 | 43 | 51 | 14 | 14 | 10 | 2 | 1 | 1 | 7 | |
| AUALlira | 5 | 11 | 15 | 13 | 8 | 18 | 4 | 0 | 10 | 6 | 4 | 2 | 1 | 22 | 13 | 10 | 35 | 37 | 42 | 31 | 1 | 5 | 36 | |
| AULAsuba | 5 | 1 | 6 | 1 | 3 | 4 | 7 | 4 | 1 | 3 | 1 | 0 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 6 | 3 | 4 | 3 | |
| AULAsubK | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 7 | 2 | 2 | |
| AULitava | 4 | 2 | 3 | 5 | 2 | 5 | 4 | 4 | 3 | 2 | 6 | 6 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 | 2 | 0 | 2 | 9 | 0 | 11 | |
| AULtenel | 13 | 9 | 6 | 2 | 3 | 8 | 11 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | 0 | |
| CYCLpsel | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| CYCLradi | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| CYCLross | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 4 | 5 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| CYCLstel | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 5 | 2 | 0 | 2 | |
| EUN summa | 0 | 2 | 2 | 2 | 3 | 4 | 1 | 3 | 6 | 5 | 2 | 4 | 4 | 2 | 4 | 4 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 5 | 3 | |
| EUNzasum | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| FRAbrevi | 14 | 15 | 0 | 5 | 0 | 2 | 3 | 8 | 0 | 6 | 6 | 3 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | |
| FRACapuc | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 6 | 2 | 0 | 16 | 0 | 0 | |
| FRAGcrot | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| FRAGpinn | 0 | 1 | 1 | 2 | 4 | 1 | 2 | 1 | 3 | 2 | 7 | 11 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 0 | 5 | 0 | 6 | 4 | 1 | |
| FRAvires | 5 | 10 | 0 | 3 | 5 | 2 | 6 | 2 | 5 | 4 | 3 | 8 | 4 | 3 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | |
| FRUSrhom | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 | 5 | 6 | 1 | 1 | 10 | 6 | 9 | 7 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 3 | |
| TABfenes | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | 0 | 0 | |
| TABfloc3 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 4 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | |
| TABfloc | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 3 | 3 | 0 | 0 | 1 | 9 | 0 | 0 | 0 | 2 | 5 | 4 | 3 | 1 | 13 | 1 | |
| Planktisten lajien osuus | 51 | 50 | 72 | 52 | 40 | 69 | 49 | 52 | 43 | 31 | 36 | 41 | 65 | 77 | 75 | 75 | 84 | 80 | 79 | 73 | 70 | 53 | 82 | |

LIITE 2/6

| | Naarvanjärvi | | | | | | | Petkeljärvi | | | | | | | | |
|--------------------------|-----------------|----|----|----|----|----|----|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | Näytesyvyys, cm | | | | | | | Näytesyvyys, cm | | | | | | | | |
| Lyhenne | 0 | 7 | 13 | 19 | 25 | 31 | 37 | 0 | 7 | 13 | 19 | 25 | 31 | 47 | 59 | 71 |
| ANOMbrac | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 4 | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ASTEform | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| AULAambi | 0 | 0 | 3 | 0 | 3 | 2 | 4 | 7 | 5 | 7 | 7 | 12 | 12 | 13 | 16 | 9 |
| AULAdist | 4 | 1 | 6 | 4 | 4 | 2 | 2 | 8 | 11 | 12 | 16 | 12 | 22 | 21 | 10 | 17 |
| AULAgran | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 4 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 2 | 2 |
| AULAhumi | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| AULAital | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| AULAkape | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 0 | 0 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| AUALacu | 2 | 7 | 4 | 5 | 10 | 5 | 4 | 2 | 4 | 3 | 7 | 3 | 3 | 4 | 2 | 3 |
| AUALira | 6 | 6 | 7 | 3 | 6 | 3 | 1 | 1 | 3 | 8 | 6 | 13 | 10 | 7 | 12 | 6 |
| AULAsuba | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 1 | 20 | 10 | 15 | 14 | 12 | 17 | 10 | 9 | 11 |
| AULAsubK | 13 | 8 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 7 | 6 | 11 | 18 | 18 | 7 | 8 | 15 | 14 |
| AULitava | 1 | 5 | 8 | 3 | 9 | 2 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 9 | 5 | 4 | 3 |
| AULtenel | 4 | 8 | 3 | 8 | 5 | 10 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CYCLpsel | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CYCLradi | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CYCLross | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| CYCLstel | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| EUN summa | 6 | 5 | 5 | 5 | 5 | 9 | 7 | 6 | 8 | 5 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 7 |
| EUNzasum | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| FRABrevi | 4 | 4 | 7 | 4 | 1 | 3 | 3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 4 | 2 |
| FRACapuc | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| FRAGcrot | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| FRAGpinn | 5 | 2 | 0 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 3 |
| FRAvires | 3 | 2 | 4 | 2 | 3 | 0 | 5 | 2 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 2 |
| FRUSrhom | 4 | 9 | 9 | 10 | 7 | 3 | 7 | 3 | 3 | 1 | 2 | 3 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| TABfenes | 0 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 3 | 3 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 1 | 2 |
| TABfloc3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 0 | 0 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TABflocc | 3 | 1 | 1 | 0 | 1 | 2 | 1 | 10 | 9 | 2 | 3 | 4 | 0 | 2 | 2 | 2 |
| Planktisten lajien osuus | 47 | 51 | 45 | 51 | 49 | 41 | 32 | 65 | 59 | 67 | 77 | 78 | 85 | 74 | 76 | 72 |

KUVAILEHTI

| | | | | |
|---|--|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| <i>Julkaisija</i> | Pohjois-Karjalan ympäristökeskus | | | <i>Julkaisu-aika</i> Joulukuu 2007 |
| <i>Tekijä(t)</i> | Minna Kukkonen ja Juha Miettinen | | | |
| <i>Julkaisun nimi</i> | Tummien metsäjärvien vedenlaadun muutokset sedimentin piilevien ilmentämänä | | | |
| <i>Julkaisusarjan nimi ja numero</i> | Pohjois-Karjalan ympäristökeskuksen raportteja 4 / 2007 | | | |
| <i>Julkaisun teema</i> | | | | |
| <i>Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut</i> | Julkaisu on saatavana myös Internetissä www.ymparisto.fi/julkaisut | | | |
| <i>Tiivistelmä</i> | <p>Pohjois-Karjalan vesistöjen tilan parantaminen -hankkeen paleolimnologian osiossa selvitettiin 16 pohjoiskarjalaisen järven veden laadun historiaa sedimentin hehkutuksen ja piilevälajistomuutosten avulla. Järvien valuma-alueiden pääasiallinen maankäyttö on metsätalous ja maatalous sekä muutamassa kalanviljely.</p> <p>Valuma-alueen maankäyttö on selvästi vaikuttanut kohdejärvien vedenlaatuun, mikä on nähtävissä sedimentistä analysoidujen piilevien lajimuutoksissa. Tulosten mukaan osa järvistä on lähellä luonnontilaa, osa on selvästi rehevöityneitä ja tummuneita ja osa on rehevöitynyt, mutta viime aikoina palutunut. Lisäksi osa, varsinkin turvemaiden alapuoliset reittivedet, ovat aina olleet melko ravinteikkaita. Osassa järvistä on veden värin osalta näkyvissä tummumista ja osassa taas kirkastumista.</p> <p>Vuonna 2000 hyväksytty Euroopan unionin vesipuitelidirektiivi (EU 2000) edellyttää vesien hyvää tilaa vuoteen 2015 mennessä. Vesistöjen vertailutila ja järvessä tapahtuneet muutokset on hyvä selvittää arvioitaessa vesistön kunnostustarvetta. Selvityksiin voidaan käyttää paleolimnologisia menetelmiä, jos pitkäaikainen vedenlaadun seuranta puuttuu.</p> | | | |
| <i>Asiasanat</i> | Humusjärvet, Pohjois-Karjala, piilevät, sedimentti, rehevöityminen, metsätalous, hajakuormitus, ekologinen tila-arvio | | | |
| <i>Rahoittaja/toimeksiantaja</i> | EAKR, Ympäristöministeriö, Pohjois-Karjalan ympäristökeskus | | | |
| | ISBN 978-952-11-2867-7(nid.) | ISBN 978-952-11-2868-4(PDF) | ISSN 1796-1874 (pain.) | ISSN 1796-1882 (verkkoj.) |
| | Sivuja 57 | Kieli Suomi | Luottamuksellisuus Julkinen | Hinta (sis.alv 8 %) 7 € |
| <i>Julkaisun myynti/jakaja</i> | Pohjois-Karjalan ympäristökeskus | | | |
| <i>Julkaisun kustantaja</i> | Pohjois-Karjalan ympäristökeskus, PL 69, 80101 Joensuu | | | |
| <i>Painopaikka ja -aika</i> | Edita Prima Oy, Helsinki 2007 | | | |

PRESENTATIONSBLAD

| | | | | |
|--|---|---------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Utgivare | Norra Karelens miljöcentral | Datum December 2007 | | |
| Författare | Minna Kukkonen och Juha Miettinen | | | |
| Publikationens titel | Tummien metsäjärvien vedenlaadun muutokset sedimentin piilevien ilmentämänä (Förändringarna i skogssjöarnas vattenkvalitet på basis av kiselalger i sedimentet) | | | |
| Publikationsserie och nummer | Norra Karelens miljöcentrals rapporter 4 / 2007 | | | |
| Publikationens tema | | | | |
| Publikationens delar/ andra publikationer inom samma projekt | Publicationen finns tillgänglig också på internet www.ymparisto.fi/julkaisut | | | |
| Sammandrag | <p>I den paleolimnologiska delen av projektet "Utvärdering av tillståndet för vattendragen i Norra Karelen" undersöktes historien för vattenkvaliteten i 16 sjöar i Norra Karelen med hjälp av sedimentglödning och förändringarna i kiselalgbeståndet. Markanvändningen på sjöarnas avrinningsområden består huvudsakligen av skogshushållning och jordbruk samt i några fall fiskodling.</p> <p>Markanvändningen på avrinningsområdet har klart inverkat på de undersökta sjöarnas vattenkvalitet, vilket kan ses som förändringar av de i sedimentet analyserade kiselalgerna. Enligt resultaten befinner sig en del av sjöarna nära naturtillstånd, en del är klart eutrofierade och förmörkade och en del har eutrofierats, men har på senare tid återhämtat sig. Dessutom har en del, i synnerhet vattenflödena nedan om torvmarker, alltid varit tämligen näringsrika. I en del sjöar kan i fråga om vattnets färg observeras att de håller på att förmörkas och i en del åter att de håller på att bli klarare.</p> <p>Europeiska unionens vattenramdirektiv (EU 2000) som har godkänts år 2000 förpliktar till att tillse att vattnen befinner sig i gott tillstånd senast år 2015. Det är tillrådligt att utreda vattendragens jämförliga tillstånd och de förändringar som inträffat i sjön när man bedömer behovet av att iståndsätta vattendragen. För utredningarna kan användas paleolimnologiska metoder, om en långvarig uppföljning av vattenkvaliteten saknas.</p> | | | |
| Nyckelord | Humus, sjöar, Norra Karelen, kiselalger, sediment, eutrofiering, skogsbruk, diffus belastning, ekologiska tillståndet | | | |
| Finansiär/ uppdragsgivare | ERUF, Miljöministeriet, Norra Karelens miljöcentral | | | |
| | ISBN 978-952-11-2867-7 (hft.) | ISBN 978-952-11-2868-4 (PDF) | ISSN 1796-1874 (print) | ISSN 1796-1882 (online) |
| | Sidantal 57 | Språk Finska | Offentlighet Offentlig | Pris (inneh. moms 8 %) 7 € |
| Beställningar/ distribution | Norra Karelens miljöcentral | | | |
| Förläggare | Norra Karelens miljöcentral, PB 69, 80101 Joensuu, Finland | | | |
| Tryckeri/tryckningsort och -år | Edita Prima Oy, Helsingfors 2007 | | | |

DOCUMENTATION PAGE

| | | | | |
|---|--|---------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| <i>Publisher</i> | North Karelia Regional Environment Centre | | | <i>Date</i> December 2007 |
| <i>Author(s)</i> | Minna Kukkonen and Juha Miettinen | | | |
| <i>Title of publication</i> | Tummien metsäjärvien vedenlaadun muutokset sedimentin piilevien ilmentämänä (Sedimentary diatoms in inferring water quality changes in forest lakes) | | | |
| <i>Publication series and number</i> | Reports of the North Karelia Regional Environment Centre 4 / 2007 | | | |
| <i>Theme of publication</i> | | | | |
| <i>Parts of publication/ other project publications</i> | This publication is also available in the Internet www.ymparisto.fi/julkaisut | | | |
| <i>Abstract</i> | <p>The paleolimnology subproject of the Improving the Status of North Karelian Lakes project studied historical changes in the water quality of sixteen North Karelian lakes with calcinated sediments and changes in the diatom assemblages. In catchment areas, land was mainly used for forestry and agriculture, with fish farming in a few lakes.</p> <p>Land use in the catchment area had clearly had an impact on the water quality of the target lakes, which was evident in the changes in the diatom assemblages analysed in the sediments. The results showed that some of the lakes were in a nearly natural state, some clearly suffered from eutrophication and darkened water, and some suffered from eutrophication but had recently been recovering. In addition, some lakes, especially those below peaty soils, had always been quite nutrient-rich. The colour of the water in some lakes had become browner, while in others it had become clearer.</p> <p>The EU Water Framework Directive (EU 2000), adopted in 2000, prescribes good status of waters by 2015. It is advisable to establish a reference status and changes that have taken place in the lake when assessing the need for remediation. Paleolimnological methods can be used if there is no long-term monitoring data for water quality.</p> | | | |
| <i>Keywords</i> | Humus, lakes, North Karelia, diatoms, sediment, eutrophication, forestry, diffuse loading, ecological status | | | |
| <i>Financier/ commissioner</i> | ERDF, The Finnish Ministry of Environment, North Karelia Regional Environment Centre | | | |
| | ISBN 978-952-11-2867-7 (pbk.) | ISBN 978-952-11-2868-4 (PDF) | ISSN 1796-1874 (print) | ISSN 1796-1882 (online) |
| | No. of pages 57 | Language Finnish | Restrictions Public | Price (incl. tax 8 %) 7 € |
| <i>For sale at/ distributor</i> | North Karelia Regional Environment Centre | | | |
| <i>Financier of publication</i> | North Karelia Regional Environment Centre, P.O.Box 69, FIN-80101 Joensuu, Finland | | | |
| <i>Printing place and year</i> | Edita Prima Oy, Helsinki 2007 | | | |



POHJOIS-KARJALAN
YMPÄRISTÖKESKUS

JOENSUUN
YLIOPISTO



RIISTAN- JA KALANTUTKIMUS



ISBN 978-952-11-2867-7 (nid.)

ISBN 978-952-11-2868-4 (PDF)

ISSN 1796-1874 (pain.)

ISSN 1796-1882 (verkkokoj.)